

**UNIVERSIDAD ANDINA NESTOR CÁCERES
VELÁSQUEZ**

FACULTAD DE INGENIERIAS Y CIENCIAS PURAS.

CARRERA ACADÉMICO PROFESIONAL DE:

INGENIERIA MECÁNICA ELÉCTRICA.



TESIS:

**“ANÁLISIS, MODELAMIENTO Y SIMULACIÓN DEL
TRANSPORTE NEUMÁTICO EN FASE DENSA PARA SU
APLICACIÓN EN PROCESOS INDUSTRIALES”**

PRESENTADO POR:

- Bach. Wilver Mamani Barra
- Bach. Yurwin Napo Pomari Quispe

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

MAYO - 2015



Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez
Carrera Académico Profesional de Ingenierías Mecánica Eléctrica

TESIS:

“ANÁLISIS, MODELAMIENTO Y SIMULACIÓN DEL TRANSPORTE
NEUMÁTICO EN FASE Densa PARA SU APLICACIÓN EN PROCESOS
INDUSTRIALES”

Presentado por:

- Bach. Wilver Mamani Barra
- Bach. Yurwin Napo Pomari Quispe

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE

Ing. SALVADOR T. VALDIVIA CARDENAS

PRIMER MIEMBRO:

Ing. M.Sc. MARIO ALEJANDRO RAMOS HERRERA

SEGUNDO MIEMBRO:

Ing. BENJAMIN CHUQUIMAMANI QUINTO

JULIACA - PERU
2015



AGRADECIMIENTO

Nuestros agradecimientos a los docentes de la Carrera Académica Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Universidad "Néstor Cáceres Velásquez", por las enseñanzas impartidas y experiencias volcadas en nuestra formación, no solo en el desarrollo académico y técnico de los cursos, así como también en la dedicación de brindarnos los conocimientos adecuados y fundamentales para nuestra realización como profesionales competentes e íntegros para servir a la sociedad.

Los Autores.



DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a Dios quien supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.

A mi familia quienes por ellos soy lo que soy. Para mis padres JUAN FRANCISCO, DELIA ROSENDA por su apoyo, consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos difíciles, y por ayudarme con los recursos necesarios para estudiar. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores mi principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia, mi coraje para conseguir mis objetivos.

A mis hermanos por estar siempre presente, acompañándome para poderme realizar.

Wilver



DEDICATORIA

Esta dedicatoria se la dedico a Dios quien supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.

A mi familia quienes por ellos soy lo que soy. Para mis padres ADOLFO, MERCEDEZ por su apoyo, consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos difíciles, y por ayudarme con los recursos necesarios para estudiar. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia, mi coraje para conseguir mis objetivos.

A mis hermanos por estar siempre presente, acompañándome realizar.

Yurwin



ÍNDICE

AGRADECIMIENTO	ii
DEDICATORIA	iii
INDICE	1
INTRODUCCIÓN	4
RESUMEN	8
ABSTRACT	9
CAPITULO I	10
ASPECTOS GENERALES DEL ESTUDIO	10
1.1. DENOMINACIONES Y ALCANCES	11
1.2. AMBITO DEL ESTUDIO	12
1.3. ENTIDADES RESPONSABLES	13
1.4. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA	13
1.5. OBJETIVOS DE ESTUDIO	14
1.6. HIPÓTESIS	15
1.7. VARIABLES	16
1.8. JUSTIFICACIÓN	17
1.9. METODOLOGÍA	17



CAPÍTULO II

FUNDAMENTO TEORICO.....	20
2.1 FUNDAMENTO TEORICO.....	21
2.2 CONSIDERACIONES PARA EL TRANSPORTE.....	23
2.3 MEDIO AMBIENTE Y ECOLOGIA	24
2.4 TRANSPORTE DE CAUCHO Y PLASTICO	25
2.5 FRESADO EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA.....	26
2.6 TRANSPORTE DE VIDRIO	27
2.7 TRANSPORTADORES NEUMATICOS	28
2.8 INSTALACIONES NEUMATICAS PARA PRODUCTOS DE AGRANEL.....	31
2.9 COMPONENTES DE TRANSPORTADORES NEUMATICOS	31
2.10 TIPOS DE TRANSPORTADORES NEUMATICOS	32

CAPITULO III

CALCULO DE ANALISIS DEL SISTEMA DE TRANSPORTE NEUMATICO EN FASE DENSA.....	43
3.1 ANALISIS DEL SISTEMA DE TRANSPORTE NEUMATICO EN FASE DENSA.....	44
3.2 DATOS INICIALES PARA EL CALCULO	49



CAPITULO IV

MODELAMIENTO Y SIMULACION DEL SISTEMA DE TRANSPORTE

NEUMATICO CON UN SOFTWARE DE DISEÑO DE INGENIERIA MECANICA

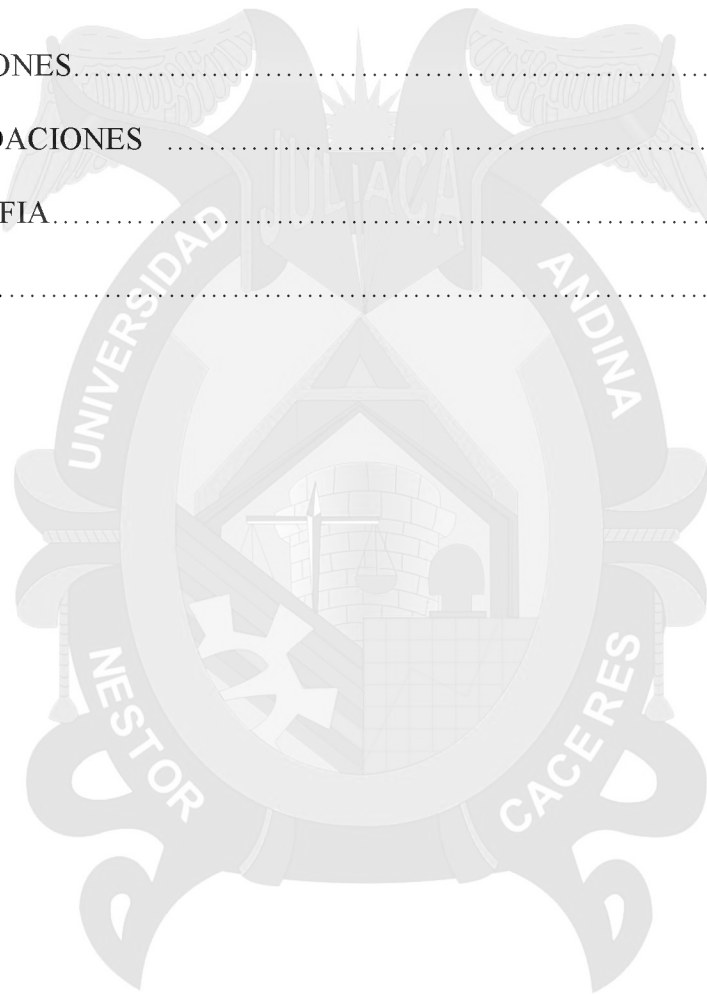
.....69

CONCLUSIONES.....76

RECOMENDACIONES77

BIBLIOGRAFIA.....78

ANEXOS.....80



INTRODUCCIÓN

El proyecto de investigación titulado: “ANÁLISIS, MODELAMIENTO Y SIMULACIÓN DEL TRANSPORTE NEUMÁTICO EN FASE Densa PARA SU APLICACIÓN EN PROCESOS INDUSTRIALES” que a continuación presentamos, trata sobre la importancia que tiene el realizar análisis del traslado de sustancias sólidas para su posterior procesamiento industrial. Nuestro tema reviste mayor importancia porque en la actualidad no se realiza modelamiento en software ni simulación para poder realizar estudios de procedimientos. Por tal motivo es un tema interesante y de consulta para cualquier investigador en el área de la ingeniería del diseño y simulación.

El transporte neumático es uno de los procesos más interesantes para el movimiento de material, involucra conceptos de mecánica de fluidos, dinámica y diseño de máquinas entre otras áreas de la ingeniería, en general los modelos matemáticos del proceso son bastante complejos, debido a que el transporte de material mediante una corriente de gas genera interacciones entre las partículas y éstas son difíciles de analizar debido a las colisiones entre ellas y contra la tubería de transporte.

Mediante el análisis conseguiremos plantear los diferentes aspectos que gobiernan la física del transporte neumático logrando comprender cómo funciona el referido ciclo y además sus aplicaciones para el trabajo con cemento, cenizas, gránulos de plástico, materiales a granel y sólidos; pellets, productos químicos, productos alimentarios y



vidrio. Todos estos elementos son considerados sólidos y son, principalmente, los más utilizados en la industria. Por tal motivo lo que pretendemos hacer es un análisis del proceso para que en posteriores trabajos de investigación esta información sirva como base de la optimización de los ciclos de trabajo; luego deberemos modelar el mismo y finalmente realizar la simulación de por lo menos uno de los procesos de uno de los materiales arriba mencionados.

También podremos brindar la posibilidad de que los estudiantes de pregrado aprecien la teoría puesta en práctica generando una mayor interiorización de la información, al igual que una motivación adicional para continuar acrecentando el conocimiento sobre el transporte neumático.

El análisis, modelamiento y simulación del transporte neumático permitirá estudiar y visualizar el transporte de materiales sólidos a granel; también analizar cómo los diferentes tipos de flujo en la tubería pueden afectar el transporte y así determinar los parámetros y variables más importantes para el correcto diseño y operación de estos sistemas tales como la velocidad mínima de la mezcla aire-sólido y la caída de presión en la tubería entre otros.

Utilizaremos, para el modelamiento y simulación el programa Matlab, puesto que es utilizado ampliamente en la industria del transporte neumático y también en la diversidad de estudios de procesos industriales de diferentes rangos.

Diferentes sistemas de transporte neumático se utilizan ampliamente en la industria para transportar materiales secos, finos y a granel porque son extremadamente versátiles, adecuados y económicos para muchos procesos. El transporte neumático de sólidos se ha practicado por más de un siglo en el mundo y hoy se puede encontrar sistemas de este tipo en las más variadas industrias: la minería, industria del cemento y

construcción, química y farmacéutica, plásticos, de alimentos, papel, vidrio, energía, etc. Por ejemplo, el transporte y descarga neumática de cemento, cal, azúcar, pellets plásticos en camiones a granel presurizados; sistemas de transporte e inyección neumática de concentrado de cobre seco a convertidores Teniente, y sistemas similares para carbón pulverizado que alimentan calderas y hornos; sistemas de transporte neumático de fertilizantes, yeso, coke, cenizas, sal, alimentos, granos, aserrín, etc. en plantas de procesos; sistemas de captación y transporte neumático de polvo; etc.

El objetivo principal de un sistema de transporte neumático es transportar materiales sólidos a granel desde un punto a otro por medio de un flujo de gas a presión, ya sea positiva o negativa, y a través de una cañería. Materiales particulados finos en el rango de los micrones hasta partículas de 20 mm se pueden transportar en forma horizontal y/o vertical, desde algunos metros hasta máximo dos kilómetros de distancia, y con capacidades de hasta 1000 t/h a través de cañerías de hasta 500 mm de diámetro.

La principal ventaja del transporte neumático de sólidos a granel es que los sistemas son cerrados, y por lo tanto, no-contaminantes. El material transportado se “encierra” totalmente dentro de la cañería, lo cual protege al producto del medio ambiente y viceversa (al medio ambiente del producto en caso de transportar materiales peligrosos, explosivos, tóxicos, biológicos, etc.). Además, son sistemas muy limpios, adecuados para muchos y variados procesos, flexibles para cambiar de dirección, requieren de un reducido espacio y son fáciles de automatizar.

Dentro de las desventajas es importante destacar que no todos los materiales particulados se pueden transportar neumáticamente a través de cañerías, sino sólo aquellos materiales secos, no cohesivos, de fácil escurrimiento libre por gravedad, y relativamente finos. Materiales frágiles pueden sufrir de excesiva atrición y materiales



abrasivos pueden causar desgaste prematuro en las cañerías y codos. Otras limitaciones del transporte neumático son el tamaño máximo de partícula, la capacidad máxima de transporte, la distancia a transportar y el mayor consumo de energía.

Hoy en día se pueden encontrar sistemas de transporte neumático en las más diversas industrias. Incluso existen algunas aplicaciones algo inusuales como el transporte neumático de gallinas vivas en granjas, transporte neumático de botellas plásticas y/o latas de cerveza, transporte neumático de cubos de hielo en minas subterráneas en Sudáfrica, transporte de pellets para alimentar salmones, etc.

En países que utilizan este tipo de técnicas como Chile, una de las aplicaciones más relevantes quizás sea el transporte e inyección neumática de concentrado de cobre seco a los convertidores en que el material es introducido al reactor bajo el baño de material fundido, con alta presión y capacidades de 100 tph. Otra aplicación muy común es el uso de camiones tolva presurizados para el transporte a granel de diversos materiales tales como cal, cemento, carboncillo, azúcar, harina, yeso, etc. y en que la descarga de la tolva a los silos de almacenamiento se realiza en forma neumática.

Proponemos pues un tema muy interesante de amplios objetivos y de consecución técnico académica extensa pues puede ser ampliado y mejorado por futuros tesisistas tanto del área de Ingeniería Mecánica como de Ingeniería Industrial así como la tan importante Ingeniería de Procesos.

Los Autores

RESUMEN

El transporte neumático es uno de los procesos más interesantes para el movimiento de material, involucra conceptos de mecánica de fluidos, dinámica y diseño de máquinas entre otras áreas de la ingeniería, en general los modelos matemáticos del proceso son bastante complejos, debido a que el transporte de material mediante una corriente de gas genera interacciones entre las partículas y éstas son difíciles de analizar debido a las colisiones entre ellas y contra la tubería de transporte.

El objetivo principal de un sistema de transporte neumático es transportar materiales sólidos a granel desde un punto a otro por medio de un flujo de gas a presión, ya sea positiva o negativa a través de una cañería. Materiales particulados finos en el rango de los micrones hasta partículas de 20 mm se pueden transportar en forma horizontal y/o vertical, desde algunos metros hasta máximo dos kilómetros de distancia, y con capacidades de hasta 1000 t/h a través de cañerías de hasta 500 mm de diámetro.

En el presente trabajo de investigación proponemos realizar el análisis, modelamiento y simulación del transporte neumático en fase densa para sus aplicaciones en la industria y en la minería dándole una relevancia puesto que en nuestro país este tipo de transporte es muy poco utilizado.



ABSTRACT

Pneumatic conveying is one of the most interesting material movement processes involves concepts of fluid mechanics, dynamics and machine among other areas of design engineering, mathematical models in general the process is quite complex, since the transport of the material by a stream of gas it generates interactions between particles and are difficult to analyze due to collisions between them and against the transport tube. The main purpose of a pneumatic conveying system is for transporting bulk solid materials from one point to another by a flow of gas pressure, either positive or negative through a pipe. Materials of fine particles in the range of microns to 20 mm particles can be transported horizontally or vertically, from a few meters to maximum two kilometers away and with capacities up to 1000 t / h through pipes up to 500 mm in diameter. In this research it is proposed to carry out the analysis, modeling and simulation.



CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES DEL ESTUDIO

1.1. DENOMINACIÓN Y ALCANCES.

El transporte neumático se usa con éxito en la industria desde hace muchos años, puede transportarse desde harina a granos, desde pellets plásticos hasta carbón. Al comienzo se utilizaba aire a alta velocidad para transportar pocos sólidos que quedan suspendidos por el aire (transporte en fase diluida), sin embargo este método requiere altos caudales de aire. Desde los años 1960 se presta atención al transporte en fase densa donde los sólidos no están totalmente suspendidos, pero los requerimientos de aire se reducen drásticamente. Si bien se utiliza un menor caudal de aire se requiere una mayor presión para impulsar los sólidos. Al trabajar con menores caudales, la atrición de las partículas provocada por el choque entre sí mismas y con las paredes de los ductos de transporte también disminuye. Como ya mencionamos la transición se da a las velocidades de ahogo o sedimentación según el transporte sea vertical u horizontal.

La modelación del transporte de flujos bifásicos gas-sólido y el cálculo de su pérdida de presión es una tarea compleja debido a las diferentes concentraciones en peso de la mezcla (relación entre la cantidad de material transportado y la cantidad de aire) que implica diferentes tipos de flujos, cada uno requiere su propio modelo con el objetivo de proporcionar un método de cálculo específico. A una velocidad relativamente alta los sólidos son transportados en una aparente suspensión uniforme, en la llamada fase pobre o diluta, esto se utiliza para distancias de un kilómetro o más; para distancias menores es recomendable el transporte en fase densa debido a su menor

consumo energético. Todos los sistemas de transporte neumático de las empresas cubanas del níquel poseen distancias menores a los 400 metros.

A modo de ejemplo se presenta en la Figura 1.1 los patrones de flujo que se producen en un transporte horizontal.

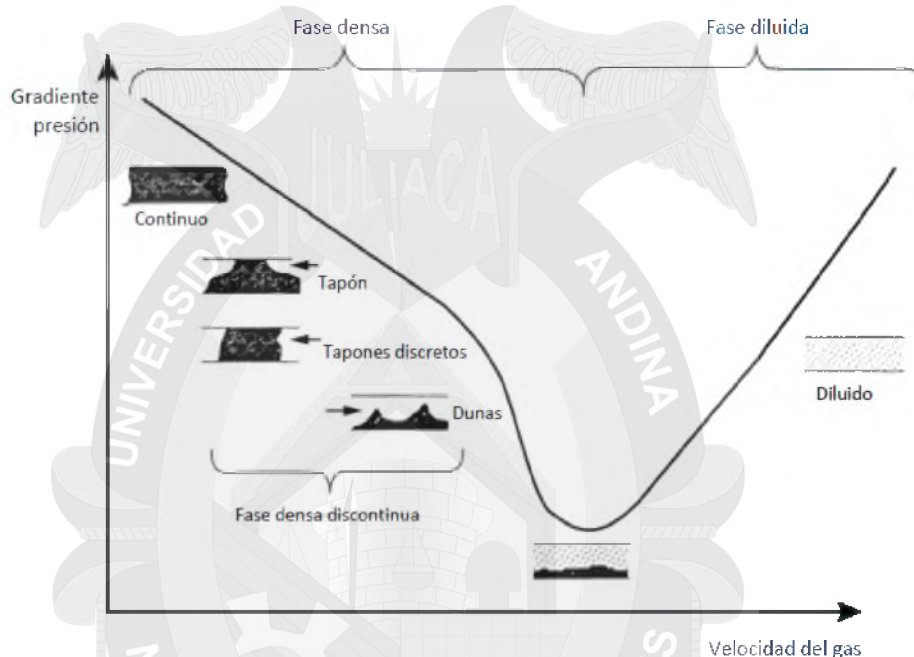


Figure 1.1. Transporte horizontal en fase densa. Fuente: Rhodes

El transporte en fase densa continua, en el cual los sólidos ocupan totalmente la cañería conduce prácticamente a la obstrucción de la línea. Si se quiere impulsar los sólidos en esta condición se requiere una alta presión, y sólo es posible si existe una porosidad mínima para que permita el paso del gas.

1.2. ÁMBITO DEL ESTUDIO.

El estudio se aplicara en:

Región : Puno

Provincia : San Román

Distrito : Juliaca

Lugar : Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" – Carrera
Académico Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica

1.3. ENTIDADES RESPONSABLES

Para el desarrollo de la presente tesis se necesitará establecer niveles de coordinación y apoyo con la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" específicamente con la Carrera Académico Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica.

1.4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Problema Principal

- **PG.** ¿De qué manera influye el análisis, modelamiento y simulación del transporte neumático en fase densa en procesos industriales?

Preguntas Específicas:

- **PE1.** ¿Cómo se realizará el análisis del transporte neumático de tal manera que se plantee una metodología del proceso o procesos que se suceden en este ciclo de trabajo?
- **PE2.** ¿Qué criterios de modelamiento se empleara para determinar los procesos de trabajo en el transporte de sólidos en fase densa?

- **PE3.** ¿Cómo se realizará la simulación tomando los criterios reales de un proceso específico de transporte neumático en fase densa para sólidos?

El trabajo, por lo tanto, estará enmarcado en la resolución de estas preguntas las cuales nos proporcionarán el norte de la investigación permitiéndonos formular planteamientos y desarrollo de objetivos en función de la factibilidad de la resolución de las mismas.

Cabe señalar que el desarrollo del presente trabajo dependerá de concretizar la aplicabilidad de los procesos que se está planteando.

1.5. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

i. Objetivo General

OG. Realizar el análisis, modelamiento y simulación del transporte neumático en fase densa para su aplicación en procesos industriales.

ii. Objetivos Específicos

- Determinar el análisis del transporte neumático para plantear una metodología de procesos que se suceden en este ciclo de trabajo.
- Plantear los criterios de modelamiento para determinar los procesos de trabajo en el transporte de sólidos en fase densa.

- Realizar la simulación mediante un software matlab simulink tomando los criterios reales de un proceso específico de transporte neumático en fase densa para sólidos

1.6 HIPÓTESIS

i. Hipótesis General

- El análisis, modelamiento y simulación del transporte neumático en fase densa para aplicación en procesos industriales permitirá determinar solución como metodologías correctas en los procesos que se suceden en este ciclo de trabajo.

ii. Hipótesis Específica

- Mediante el análisis y simulación del transporte neumático es posible comprender los procesos de transporte de sólidos de diferentes tipos y se podrá plantear ecuaciones de análisis para realizar el proceso de simulación.
- La aplicación de criterios de modelamiento para determinar los procesos de trabajo en el transporte de sólidos en fase densa y conocer el ciclo de trabajo y sus posibles mejoras mediante cálculos.
- La simulación se determinara mediante un SOFTWARE MATLAB SIMULINK y tomando los criterios reales de un proceso específico de transporte neumático en fase densa para sólidos permite conocer

ampliamente los procesos de trabajo en el transporte neumático y para la optimización del sistema.

1.7. VARIABLES

i. Variables Independientes

- ✓ Parámetros de análisis:
- ✓ Presión de vacío para el transporte [kPa]
- ✓ Densidad de la sustancia a transportar [ρ]
- ✓ Velocidad del transporte de sustancia [v]
- ✓ Procesos Industriales

ii. Variables dependientes

- ✓ Volumen de la sustancia a transportar [V]
- ✓ Software de modelamiento
- ✓ Sistema básico del transporte

iii. Variables concurrentes

- ✓ Metodología de la simulación
- ✓ Disponibilidad
- ✓ Eficiencia del sistema de transporte
- ✓ Ubicación y capacidad

1.8.JUSTIFICACIÓN

El trabajo que pretendo desarrollar está enmarcado en las siguientes justificaciones:

- Con el análisis, modelamiento y simulación se optimiza los procesos industriales.
- Estudio de las metodologías que permitan realizar un buen procedimiento de selección y cálculo de transportadores neumáticos.
- Realización de un informe y su defensa.

1.9.METODOLOGÍA

Nuestro método y técnica de investigación será de tipo análisis experimental y deducción matemática.

La investigación se inicia como descriptiva pasando por un proceso explicativo, deductivo, matemático y finalizará con un análisis de simulación.

Además se agregará la simulación en Matlab para comprobar la relación y modelamiento matemático de los principales parámetros de cálculo lo que facilitará un panorama de análisis de los resultados del mismo.

Nivel de investigación.

Debido a que tenemos como objetivo realizar procesos de uso frecuente en la industrial, así como establecer relaciones entre las variables propuestas en un determinado momento, además considerando que el propósito es investigar

relaciones causa-efecto y que no es posible ejercer un control directo de las variables independientes; emplearemos el método experimental.

Podemos resumir los enunciados de la metodología de la investigación de la siguiente manera:

Nivel de investigación : ANALÍTICO - APLICADO

Restricciones : Pruebas en laboratorio

Técnicas : ANÁLISIS ESTADÍSTICO, RECOPIACIÓN
DE DATOS, MODELAMIENTO
MATEMÁTICO, SIMULACIÓN EN
SOFTWARE.

i. Restricciones

Las restricciones que presenta el presente estudio están en función a la demanda de los procesos que en él se plantean y a la amplia gama de procesos industriales que se pueden encontrar.

Se aplica a todo el sector industrial y minero en función de los costos de la construcción de los mencionados transportadores. La principal restricción es que en el presente proyecto de investigación se analiza el transporte neumático y no la construcción de la máquina en sí. Es tarea de otro investigador implementar los diseños constructivos para la aplicación del presente proyecto.

ii. Técnicas.

Las principales técnicas que se utilizaran en el presente trabajo son:

- Análisis documental.



- Observaciones.
- Esquemas y diseños.
- Manufactura.
- Modelamiento en Matlab.





CAPÍTULO II

FUNDAMENTO TEORICO

2.1 FUNDAMENTO TEÓRICO

El transporte neumático en fase densa se utiliza en todos aquellos sectores que manipulen sólidos granulados o pulverulentos. Su característica principal es la baja velocidad de transporte y esta ventaja lo hace apropiado a una amplia gama de industrias.

Se recomienda principalmente en aquellos casos donde se requieran altas capacidades de transporte (hasta 300 Tn), largas distancias (hasta 1.000 m), una manipulación cuidadosa del producto, o las características de abrasividad del producto lo precisen. Tiene aplicaciones en sectores como alimentario, químico, plásticos, minerales, cerámico, cemento, tratamiento de residuos y medioambiente.

Principales ventajas

- Sistema cerrado, evitando emisiones de polvo.
- Permite transporte a largas distancias y altas capacidades productivas.
- Manipulación suave del producto, evitando la rotura de partículas.
- Mínimo desgaste del equipo, reduciendo drásticamente el mantenimiento.
- Bajo consumo de aire comprimido y energético.
- Total adaptabilidad de la ruta de transporte, minimizando las necesidades de espacio.
- Alto rendimiento y disponibilidad.
- Diámetros de tubería de transporte mínimos.
- Permite transportar materiales abrasivos o con diversidad de densidades de partículas.

- Sencillez, facilidad de instalación y ampliación.
- Rápido retorno de inversión.

El transporte neumático en fase densa se distingue de otras tecnologías por la baja velocidad de transporte y una excelente relación de eficiencia producto/aire. Indicativamente, la relación entre aire (u otros fluidos gaseosos) y producto es la siguiente:

Fase densa: unos 30 l de gas de transporte por 1 Kg de producto.

Otros sistemas: unos 1000 l de gas de transporte por 1 Kg de producto.

El sistema de transporte neumático en fase densa preserva la integridad del material, incluso en caso de mezclas de más productos. La baja velocidad es adecuada para productos muy frágiles, como atomizado cerámico, café, arroz, fibra de vidrio. El desgaste de los tubos utilizando el transporte neumático en fase densa es mucho menor respecto a otros sistemas.

Además, la baja cantidad de gas utilizado permite no dispersar las sustancias volátiles y preserva el eventual aroma y el uso de gases inertes permite evitar la oxidación de los productos.

La mayor flexibilidad de las soluciones comparada a los sistemas en fase diluida y a las cintas transportadoras industriales y los métodos tradicionales de automatización industrial, permite la combinación con cualquier tipo de máquina: extractores, silos, cócleas, tolvas, dispositivos de vaciado de bolsas, cortadoras de bolsas, electro-filtros y filtros. Además, la posibilidad de usar nitrógeno durante el transporte permite utilizar sistemas en ambientes clasificados, pero ese es otro tema de investigación.

Gracias a la densificación del producto durante el transporte, la rumorosidad desciende a menos de 75 dBA.

El uso de menores volúmenes de aire permite un notable ahorro energético. Los costes de mantenimiento de los sistemas de transporte neumático en fase densa son inferiores y el número de piezas de repuestos y las intervenciones técnicas también se reducen.

2.2 Consideraciones para el transporte

Transporte neumático en fase densa: esquema de funcionamiento



Fig. No. 2. Esquema básico de un sistema de transporte neumático automatizado.

Industria de la construcción (transporte de cemento)

El transporte neumático de cemento a granel, arena y materias primas representa uno de los mayores desafíos para la industria de la construcción. Las plantas de hormigón pueden ocupar grandes o pequeños espacios. Para hacer frente a estos problemas, es importante hacer un buen uso de los espacios disponibles, para facilitar el diseño y poder reducir los costes de todo el proceso.

Los sistemas de transporte neumático de cemento, diseñados para ser instalados en el exterior, se diferencian por su facilidad de ajuste, flexibilidad de aplicación y compactación. También permiten poder optimizar tanto el diseño como los costes de mantenimiento, gracias al uso de una baja velocidad de transporte que permite reducir el desgaste con las tuberías durante el transporte de productos abrasivos como la arena.

2.3 Medio ambiente y ecología

El tratamiento de aguas residuales requiere una fase de transporte de lodos seco, carbón activo, diatomeas y la arena hasta los silos de almacenamiento, donde es importante para mantener la integridad del producto de acuerdo con las normas de seguridad ambiental.

La tecnología permite el movimiento de material en pellets, gránulos o arena en el interior de un sistema totalmente cerrado, respetando además el medio ambiente. Gracias a la utilización de una baja velocidad de transporte de polvos y de curvas antidesgaste, los pellets, gránulos y polvos de los materiales permanecen intactos y los tubos no quedan afectados por la abrasividad del producto.

Existen empresas que proponen soluciones (Air-Tecsystem) para utilizar el transporte neumático para el polvo y cenizas volantes desde filtros y electrofiltros (presentes en la fábrica de vidrio), fundiciones y centrales eléctricas. El carbón pulverizado y el carbonato de calcio son transportados de manera eficiente hasta su destino dentro de un sistema cerrado con una cantidad reducida de aire comprimido u otros líquidos gaseosos.

El transporte neumático de cenizas de biomasa y pellets de calderas y de los incineradores es una fase muy importante para la conducción de calefacción central. La producción de energía eléctrica a partir de residuos está en constante crecimiento, por lo tanto la necesidad de una tecnología avanzada capaz de soportar el desarrollo del mercado es muy bien conocida.

2.4 Transporte de Caucho y plástico

La industria del plástico y del caucho ofrecen muchas posibilidades para la aplicación de las soluciones, especialmente donde haya la necesidad de transportar de manera segura los diferentes materiales como plásticos inertes, materiales comprimidos, polímeros vírgenes, tecno-polímeros, resinas, masterbatch y minerales de diferentes tipos: en polvo granulado, reafGilados y micronizados. La tecnología garantiza la total integridad de los gránulos de plástico hasta el destino final. Además, si no se utilizan los sistemas de transporte adecuados para garantizar la calidad del producto, hay serios riesgos de desgaste y abrasión en las líneas de transporte (esto es muy frecuente durante el transporte de gránulos de fibra de vidrio usando los métodos tradicionales), rotura del producto y generación de polvo (en el caso de los polímeros con aditivos con minerales como el talco, caolín, carbonato de calcio, etc.) y formación de cabello de ángel.

La eficiencia de los sistemas de transporte de plástico es debido a la baja velocidad de transporte y al uso de una presión uniforme que permite el desplazamiento del material de forma suave dentro de la tubería a la máxima densidad posible. Además, la baja velocidad de transporte significa ahorrar energía y evitar desgastes en la planta, reduciendo costes de mantenimiento.

Estas soluciones ofrecen la posibilidad de programar completamente el lavado de la línea. Es particularmente indicado para masterbatch y productores de compuestos que necesitan transportar diferentes productos dependiendo del color y de la consistencia.

2.5 Fresado y la industria alimentaria

Hay la necesidad tanto en la industria alimentaria como harinera de encontrar las posibilidades de transportar grandes cantidades de productos alimentarios, a granel, en polvo y gránulos, en diferentes etapas del ciclo de producción. Cuando los sistemas son complejos y no rectilíneos, pueden presentarse problemas de transporte si la opción utilizada no es la más apropiada para un producto que ha de mantenerse completamente en estado orgánico sin riesgo de contaminación.

Los sistemas de transporte neumático permiten el transporte eficiente de productos a granel como harina, café molido o en grano, azúcar, aditivos, cacao, arroz en cáscara, arroz blanco, productos extraídos, copos de cereales, frijoles secos y leche en polvo. Gracias a la baja velocidad de los sistemas de transporte neumático, la calidad del material se mantiene hasta el punto final de destino, evitando el desgaste de las tuberías que permitirán reducir gastos de mantenimiento en la planta.

El transporte neumático en fase densa conserva todas las propiedades de las mezclas de los alimentos hasta su destino final.

Los productos terminados y semielaborados como los copos de arroz, el arroz blanco y el café, son materiales bastante frágiles que deben mantener

su integridad. Gracias al uso de pequeñas cantidades de aire u otro gas inerte como el nitrógeno, el aroma de los productos como el café se conserva. Productos como la leche en polvo pueden fluir dentro de la tubería sin ningún tipo de obstáculo.



Fig. 3. T.N. de sólidos.

2.6 Transporte de Vidrio

Los sistemas de transporte de vidrio se aplican tanto para el transporte de vidrio como de polvo procedente de electrofiltros presentes en la fábrica de vidrio.

La fabricación de vidrio requiere transportar arena de sílice, vidrios rotos en gránulos o mezclados, cuarzo y otras materias primas. La alta abrasividad de los productos hace que sea necesario utilizar un método eficiente de

transporte de vidrio con la capacidad de minimizar desgastes en todo el sistema.

La tecnología desarrollada satisface estas necesidades. También permite el transporte neumático de vidrio en diferentes formas a largas distancias. Conserva todas las combinaciones de productos, con una velocidad muy baja y curvas específicas de hierro para evitar el desgaste de las tuberías.

Los humos de la fábrica de vidrio deben ser medidos, y hay una necesidad de transportar los polvos provenientes de filtros y electrofiltros. Las soluciones para el transporte de vidrio permiten transportar eficientemente el polvo dentro de un sistema cerrado hasta el destino con el uso de una cantidad reducida de aire comprimido u otros fluidos gaseosos.

2.7 TRANSPORTADORES NEUMATICOS

Los transportadores neumáticos son empleados para la manutención de pequeños objetos o materiales a granel de fácil manejo. El sistema se basa en una corriente continua de aire que impulsa o arrastra los objetos manipulados por el interior de unos tubos adecuados.

Las diferencias de presión se logran, al introducir aire a presión a un sistema por encima o por debajo de la presión atmosférica. La mezcla del material con el aire reduce el ángulo de rozamiento de tal manera que la masa se comporta como un fluido que puede manipularse como tal, a este proceso se le llama fluidización. La diferencia de presión y el volumen de aire necesario, dependen de la dirección de flujo de polvo, ascendente, como también del tamaño de las partículas que pueden ser bastantes grandes o pequeñas.



Fig. 3. Esquema básico de un transportador neumático de polvo de vidrio.

Para un flujo ascendente, el volumen del aire así como la diferencia de presión deberán ser lo bastante grande como para arrastrar al polvo venciendo la fuerza de gravedad.

Cuanto mayor sea la inclinación de la tubería y mayor el tamaño de las partículas tanto mayor será la cantidad de aire y la diferencia de presión necesarias.

Para un flujo horizontal, se precisa caudales de aire y diferencia de presiones aún mayores para contrarrestar la tendencia a que el material que está siendo transportado se asiente en la tubería o ducto.

Entre las principales ventajas de los transportes neumáticos podemos señalar:

- Posibilidad de recorridos complejos, con un mínimo de espacio ocupado por las tuberías que pueden tener trayectoria ascendente, descendente, con curvas, bifurcaciones, etc.
- La limpieza que se mantiene en el ambiente ya que todo el sistema es cerrado.
- Bajos costos de mantenimiento.
- Fácil aspiración del material de estibas, vagones, almacenes a pesar de las dificultades que presentan los rincones y otros puntos de difícil acceso.
- Una planta con sistema de transporte por vía neumática se monta en menos tiempo que un sistema mecánico.

2.7.1 Dentro de las desventajas se puede señalar.

- Consumo elevado de energía, 5 veces la necesaria para un transporte mecánico normal.
- Las distancias de transporte no son muy grandes (inferiores a 300m).
- A grandes velocidades los materiales frágiles son desmenuzables debido al impacto con los ductos.
- Limita en la granulometría del material a transportar.
- Peligro que el material transportado, tienda a aglomerarse llegando incluso a bloquear los ductos.
- Posibilidad que polvos fácilmente combustibles en la columna de aire formen una mezcla explosiva. La explosión puede ser provocada por la formación de cargas eléctricas estáticas.
- Dificultad de separar la mezcla aire – material, necesidad por lo tanto de utilizar separadores voluminosos y costosos.

2.8 Instalaciones Neumáticas para productos a granel

Se utiliza el sistema de impulsión cuando el compresor se puede instalar en el extremo de la alimentación, y el sistema de aspiración cuando el grupo motor se instala en el extremo de la descarga (destino).

2.9 Componentes de los transportadores neumáticos

- Unidad de alimentación o carga.
- Tuberías.
- Compuertas.
- Tuberías de succión
- Válvulas de desvío.
- Separadores y colectores de polvo.
- Compresores, ventiladores o sopladores.
- Filtros.

2.9.1 Compuertas:

Introducen el material en el sistema, desde un lugar a determinada presión a otro con una presión distinta. Pueden ser del tipo rotativo, dotadas de una buena estanqueidad, su velocidad es el orden de 20 a 60 RPM.

2.9.2 Tuberías:

Su selección de las características del material a transportar, grado de abrasividad, así como velocidad y flujo de este material. Según las del tipo de transporte neumático usado se puede distinguir:

La caída de presión crea una corriente de aire, la que pasa a través del material, efectuando la carga del mismo en la tubería.



Fig. 4. Transporte neumático de sólidos del cemento.

2.9.3 Válvulas de desvío:

Se emplea para conectar las ramas de la tubería a la unidad de carga o alimentación; pueden ser accionadas manualmente o a distancia, mediante dispositivos electroneumáticos.

2.9.4 Separadores:

Son los depósitos en los cuales se precipita el material transportado por la corriente de aire. La separación del mismo se efectúa a consecuencia de los siguientes factores:

- Pérdida de velocidad, consecuencia de la mucha mayor sección del separador respecto a la tubería (de 50 a 150 veces mayor).
- Cambio de dirección de la corriente de aire.
- Efecto de la fuerza centrífuga.

El separador suele tener forma cilíndrica, con fondo troncónico y una compuerta de descarga (silo).

2.9.5 Filtros:

A pesar de que un porcentaje elevado del material que se transporte se precipita en el separador, el aire lleva pequeñas partículas de polvo en suspensión, por lo cual se hace necesaria su limpieza mediante filtros, que pueden ser de los siguientes tipos:

- De mangas o sacos.
- Filtros húmedos.
- Ciclones centrifugas.
- Electrostático.

2.10 Tipos de Transporte Neumático (se distinguen 3)

- Transporte por aspiración o succión:

El transporte por aspiración, o sistema o a succión consiste en la movilización de polvo debido a una corriente de aire con una fuerza originada por la diferencia de presión. La presión de entrada es la atmosférica.

Las partes de que consta este tipo de transporte son:

- Zona de mezcla
- Zona de transporte
- Zona de separación

Los sistemas de vacío normalmente se proyectan con depresiones de 200 a 300 mm Hg, más allá de estos límites el aire pierde sus características para acarreo de materiales.

Las ventajas de los sistemas de aspiración son:

- Poder transportar diferentes tipos de materiales.
- Poder disponer de varios puntos de alimentación.

Sus desventajas:

- Pocas distancias de transportes por baja diferencia de presión.
- Exigen mayores relaciones aire – polvo
- Mayor consumo de energía.
- Transporte por presión:

en este caso la presión de entrada de aire es mayor que la atmósfera y la de salida es la atmosférica

Tiene las mismas más zonas, es decir, de transporte y de separación.

Se distinguen:

Los sistemas de Baja Presión (0,35 a 0,80 Kg/cm²) que son las más usadas, permite el transporte de diferentes tipos de materiales y requiriéndose solamente sopladores.

Los sistemas de Media Presión (1,05 a 3.15 kg/cm²) los que requieren el uso de compresores rotativos. La alimentación del material puede consistir en una bomba de sólidos. Para esta operación el material debe ser seco y pulverizado. En estos sistemas se pueden alcanzar hasta 600 m de distancia.

Los sistemas de Alta Presión (3,15 a 9 kg/cm²) requieren el uso de compresor y tanque de aire comprimido. Se tiene algunas referencias de

haberse alcanzado 200 m de distancia acarreando 100 barriles / hora de cemento.

Las ventajas de este sistema son:

- Mayores distancias de transporte.
- Se puede descargar el material en varios puntos.
- Transporte mixto:

Consta de una parte de la línea trabajando a succión al quedar conectada a la boca de aspiración del ventilador y otra a presión conectada al lado de descarga. Tiene la ventaja de disponer de varios puntos de carga y de descarga

Estas a su vez se pueden dividir en dos sistemas:

- Con ventilador atravesado por el material.
- Con bombas no atravesadas por el material

2.10.1 Zona de mezcla en transportadores a presión y vacío

En la zona de mezcla todas las partículas tienen que acelerarse en el menor tiempo posible hasta alcanzar la velocidad crítica. La velocidad del aire para arrastrarse la partícula más pesada es la velocidad mínima de acarreo, la cual es mayor en un ducto horizontal que en un ducto ascendente una vez alcanzada la velocidad mínima de acarreo, el paso ulterior a lo largo de un ducto solo aumenta la velocidad de las partículas debido a la expansión de la corriente de aire de acarreo. La eficiencia de cualquier aparato o dispositivo mezclador se mide en función de la caída de presión necesaria para poder producir la mezcla polvo/aire deseada a la velocidad requerida.

2.10.2 Zona de mezcla en los sistemas a presión:

Los tipos de dispositivos descritos a continuación son generalmente acondicionados para los sistemas de transporte que usan grandes volúmenes de aire a presiones relativamente bajas (de 0,35 a 1,05 kg/cm²) para proporcionar bajar de la razón polvo/aire).

Se puede distinguir las siguientes formas de alimentación:

- Alimentación por gravedad con fluidización.
- Alimentación por gravedad con ayuda de mecanismos.
- Alimentación por gravedad con ayuda de presión.

2.10.3 Zona de mezcla en los sistemas de aspiración

Las principales características de los sistemas son:

- El gradiente de presión se obtiene creando en el extremo receptor una presión menor que la atmósfera.
- La diferencia de presión disponible se limita a 2/3 de la presión atmosférica.
- La distancia del transporte está limitada por la menor diferencia de presión disponible.
- La tendencia a exigir una relación aire / polvo relativamente elevada (en comparación con los requeridas en los sistemas a presión), por lo cual el consumo de energía puede ser mayor por unidad de peso transportada.
- Es particularmente adecuado para los casos en que deban disponerse varias bocas de entrada alternativas y un sistema recolector único.

Introducción de polvo en el aire

El sistema más simple es el indicado en la figura aunque solamente sirven para polvos de escurrimiento excepcionalmente fácil. La alimentación se ajusta automáticamente por sí misma, según lo exija el sistema transportador y puede regularse variando el gasto de aire y el tamaño de la boca de descarga de la tolva. La figura muestra una variante que utiliza un alimentador rotatorio.

Introducción de polvo y aire de mezcla en la corriente de aire.

La descarga de algunos polvos de baja densidad desde de tolvas y a través de obturadores rotarios, hacia un sistema de transporte, puede resultar difícil especialmente, cuando el tubo viene aireado o cuando las tolvas mismas funcionan a baja presión. El aire que pasa hacia las tolvas a través de los obturadores rotarios puede impedir que penetre algún polvo en el ducto de aspiración. Alternativamente, cuando los obturadores tienen pérdidas y la presión en la tubería transportadora es poco inferior a la atmosférica, puede que solo la tolva más cercana al mecanismo extractor de aire logre descargar el polvo.

En estas circunstancias pueden hacerse necesario restringir la entrada de aire a la tubería transportadora a fin de mantener en ella una mayor depresión para que todas las tolvas puedan descargar, tal como se muestra.

Introducción de polvo, aire de mezcla de acarreo en la zona de alimentación de mezcla.

El equipo generalmente empleado para recoger polvos o material granulado por aspiración se muestra en la figura No. 5. Es indispensable mantener en todo momento una adecuada corriente de aire dentro de la tubería y evitar que se obstruya con una columna sólida de polvo. El gasto dependerá de los materiales transportados. La boca del tubo está rodeada de un tubo exterior, provisto por lo general de una defensa. Al extremo superior del tubo exterior hay un obturador con el cual puede graduarse el gasto del aire. Este equipo puede utilizarse solo para polvos cuyo ángulo de rozamiento permita al material fluir dentro de la boca. Existen por lo menos dos modelos en uno la boquilla de aspiración se hunde en el polvo y el otro lo recoge de un piso plano.

2.10.4 Zona de separación

En esta zona se separa el polvo de la corriente en la que ha sido acarreado. Una completa retención del polvo rara vez es factible sin usar un equipo costoso. El grado de retención del polvo rara vez es factible sin usar un equipo costoso. El grado de retención depende de factores tales como el de salubridad, el emplazamiento de la tubería y los aspectos económicos. Para retirar el grueso polvo de la suspensión polvo / aire, se emplean colectores primarios. Si se exige la captación total, después del colector primario deberá de agregarse un colector más eficiente. Este es un colector secundario que elimina el polvo que queda en la enrarecida suspensión polvo / aire que descarga el colector primario.



Fig. No. 5. Instalación completa para el transporte de sólidos en fase densa.

En los sistemas a presión, basta mantener la suficiente diferencia de presión entre la entrada y la descarga del colector para retirar el polvo del aire. Esto hace relativamente fácil proyectar un dispositivo separador de polvo.

En los sistemas de aspiración total de presión entre ambos extremos del sistema es de menos de 1 atmósfera. De aquí el valor de razón “caída de presión en el separador / caída de presión total en el sistema” deba ser pequeño. Como los componentes del sistema deben de asimismo soportar la presión atmosférica, con frecuencia el sistema resulta complicado.

La elección de un separador para un trabajo específico debe hacerse partiendo de una gran variedad de equipos, cuyo principio de operación

puede fundarse en el asentamiento por gravitación, en la colisión, centrifugación, filtración o lavado, filtración electrostática o una combinación de estos métodos. El asentamiento, la colisión y la centrifugación se emplean más comúnmente en colectores primarios; la filtración, el lavado y la precipitación electrostática se usan en colectores secundarios.

Las propiedades del polvo, especialmente el orden de tamaño, densidad relativa, temperatura y dureza de sus partículas, determinan el equipo que debiera usarse para alcanzar el grado exigido de retención o la pérdida admisible

2.10.5 Colectores Ciclónicos

El equipo usado casi universalmente como separador principal o único para amplio espectro de dimensiones se funda en la rotación de la corriente de aire la cual, debido a la fuerza centrífuga, lanza partículas a la pared del recipiente por la cual resbalan cayendo hacia la descarga. El torbellino se produce, por lo general, dirigiendo tangencialmente la corriente de aire hacia el interior de un recipiente cilíndrico, o más frecuentemente cónico, del cual escapa axialmente por un extremo. El polvo recogido se descarga por el otro extremo a través de un tipo de cierre de diseño para evitar las fugas de aire. Existen muchas formas de los llamados colectores ciclónicos entre estos están los sencillos, los de gran eficiencia, gran caudal / gran eficiencia, colector policiclónico y el extractor multicelular. El efecto centrífugo



depende de una elevada velocidad de giro de torbellino por lo cual para producir una determinada fuerza centrífuga, las velocidades de entrada deben de aumentarse con el diámetro del recipiente; por lo tanto aumentan las caídas de presión. En aparatos pequeños una fuerza centrífuga similar y por lo tanto separadora se producen mediante velocidades de entrada y caídas de presión de poca magnitud, aunque los rozamientos generados son mayores

Colectores de tela o manga.

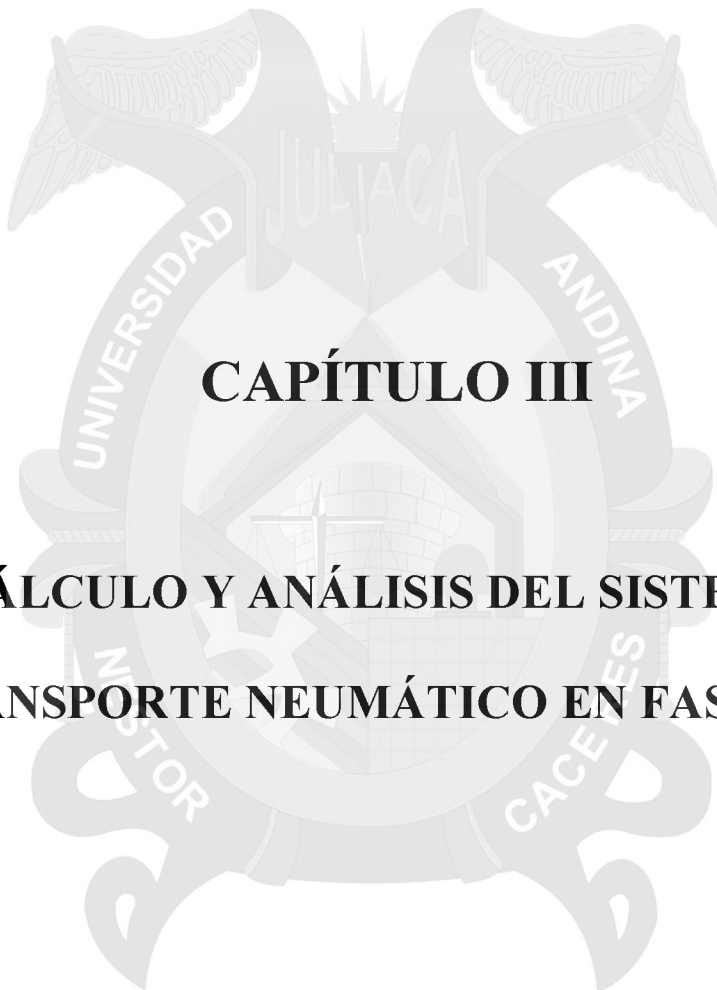
En un sistema de transporte neumático a presión el cual transporta producto pulverulento, las mangas o filtros de tela tienen una gran aplicación. La baja cantidad de aire se transporta utilizando, hace posible la utilización de mangas para evacuar el aire de un silo alimentado por medio de un sistema de presión.

En estos aparatos una superficie de tela, por lo general en forma de sacos se expone a una corriente de aire para eliminar el polvo por filtración con caída de presión lo bastante baja como para poder ser aceptable. La extracción no es una simple filtración, puesto que la trama de la tela tiene por lo general un tamaño varias veces mayor que las partículas separadas. La eficiencia de separación baja cuando el aire cargado de polvillo pasa por primera vez a través de la tela, pero aumenta conforme van quedando partículas que forman una precapa sobre la tela. Una vez formada esta precapa, la eficiencia de captación alcanza cifras elevadas próximas al 100% de captación.

Se emplean telas de muchos materiales como el algodón, lana de vidrio, terilene y nylon. Según las propiedades de partículas de polvo a captar (dureza, forma y tamaño) se emplea una u otra tela.

Debido a la acumulación continua de polvo recogido sobre la superficie de la tela, las mangas deben sacudirse periódicamente. Este proceso de limpieza puede hacerse a mano o con ayuda de mecanismos.





CAPÍTULO III

CÁLCULO Y ANÁLISIS DEL SISTEMA DE TRANSPORTE NEUMÁTICO EN FASE DENSA

3.1 ANÁLISIS DEL SISTEMA DE TRANSPORTE NEUMÁTICO EN FASE DENSA

En las empresas cubanas del níquel, el transporte neumático está limitado por el excesivo gasto de energía que alcanza los 18,82 MJ/t. Las causas que originan esta dificultad son: la incorrecta selección de la velocidad del gas transportador, la existencia de los alimentadores sinfin y la infinita variedad de características físicas y aerodinámicas de los materiales a transportar, que conducen a la inexactitud de los proyectos de las instalaciones neumáticas. A partir de los conocimientos existentes para el transporte neumático de sólidos en las fases fluida y densa se deduce un modelo teórico descriptivo, cuyos parámetros (diferencia de velocidad entre el gas y el sólido y velocidad de flotación) se obtienen con datos de una instalación experimental. Para obtener los parámetros del modelo se utiliza el método de solución de ecuaciones diferenciales Runge–Kutta cuarto orden, como parte de un procedimiento iterativo que conduce a la minimización del módulo del error promedio entre los valores experimentales y los predichos por el modelo. Con el empleo del modelo se simula la dependencia de las pérdidas de presión, el flujo másico de sólido y la concentración de la mezcla en función del flujo másico de gas de los sistemas de transporte neumático del mineral. Se confirma la reducción de las pérdidas de presión con el incremento de la velocidad del fluido en zonas inferiores a los 6,12 m/s en el transporte horizontal y 5,21 m/s en el vertical. El transporte en fase densa continua se extiende hasta los 18 m/s, aproximadamente, en ambos casos.

La modelación del transporte de flujos bifásicos gas-sólido y el cálculo de su pérdida de presión es una tarea compleja debido a las diferentes concentraciones en peso de la mezcla (relación entre la cantidad de material transportado y la cantidad de aire) que implica diferentes tipos de flujos, cada uno requiere su propio modelo con el objetivo de

proporcionar un método de cálculo específico. A una velocidad relativamente alta los sólidos son transportados en una aparente suspensión uniforme, en la llamada fase pobre

odiluta, esto se utiliza para distancias de un kilómetro o más; para distancias menores es recomendable el transporte en fase densa debido a su menor consumo energético. Todos los sistemas de transporte neumático de las empresas cubanas del níquel poseen distancias menores a los 400 metros.

El transporte neumático puede presentar las siguientes deficiencias:

La concentración a la que se produce el transporte neumático del mineral laterítico es baja (15,9 kg de material/m³ de aire).

La inexistencia de métodos para la proyección, selección y cálculo de los parámetros racionales de transporte neumático del mineral.

La modelación matemática es una herramienta indispensable en el diseño y operación de las plantas de procesos, ofreciendo un método numérico para la solución de grandes sistemas de ecuaciones derivados de la modelación de toda una planta o parte del proceso de producción. Los últimos avances en el campo de la simulación, con programas como el MATLAB, ANSYS, entre otros, permiten obtener con gran exactitud estas soluciones a una gran velocidad, pudiendo seleccionar para ello varios métodos numéricos. De igual forma para componer las ecuaciones de un objeto en la industria metalúrgica, los cuales representan complejos sistemas dinámicos, es necesario despreciar una serie de factores secundarios y sí tener en cuenta los principales: de entrada, salida y perturbaciones que influyen en la dinámica del mismo; a la vez, la sencillez del modelo conformado debe contener las principales peculiaridades del proceso investigado (Guzmán, 2001).

Es importante destacar los trabajos desarrollados sobre la modelación y simulación de los sistemas de transporte neumático en Japón, donde a partir de 1970 se establece como una disciplina en el campo de la ciencia, la ingeniería y la tecnología (Tsuji, 2000).

Varios investigadores de ese país se incorporan en esta área especializándose algunos en mediciones ópticas y otros en dinámica de los fluidos.

Es significativo subrayar el trabajo desarrollado por Hui y Tomita (2000) donde se efectúa un estudio experimental del comportamiento en fase fluida de la velocidad de la partícula y el perfil de concentración empleando técnica de imágenes fotográficas en tuberías horizontales. Otro trabajo importante es el de Huttl et al (2002) que hace un análisis de la trayectoria de las partículas por medio de la simulación directa; estos métodos también son utilizados en los trabajos de Yamamoto y Tanaka (1998); Tanaka y Yamamoto (1999); Miyoshi et al (1999^{a,b}), entre otros. Un razonamiento diferente elabora Raheman y Jindal (1993) determinando la velocidad de deslizamiento que es la diferencia existente entre la velocidad del gas y la velocidad del material en el transporte de fluidos bifásicos gas – sólido.

La modelación de la mezcla bifásica en fases fluida y densa es de interés no solo para los sistemas de transporte neumático, sino también para otras aplicaciones tales como: los procesos de fluidización y procesos hidráulicos. Massoudi y Rajagopal (1999) presentan las ecuaciones que rigen el comportamiento de un flujo de mezcla de partículas en fase densa para flujos completamente desarrollados, el autor examina la influencia de las colisiones interpartículas, el coeficiente de fricción, la viscosidad y el desarrollo de flujo isotérmico de las mezclas bifásicas.

Mason et al (1998) desarrollan la simulación de los sistemas de transporte neumático con el fin de incrementar la flexibilidad de los métodos de diseño. Esta tarea es dividida

en dos partes: la predicción del punto de operación del sistema y la influencia de los componentes individuales de la tubería en el flujo.

Los sistemas de transporte neumático para su investigación se pueden dividir en tres partes:

Sistemas de alimentación

Sistemas de transporte

Sistemas de recepción y separación de polvo.

Un modelo para el análisis de las pérdidas de presión en la línea de transporte es el desarrollado por Pan y Wypych (1997), donde estudian el comportamiento del transporte en fase densa de materiales de forma irregular partiendo de la modelación teórica en tuberías horizontales y verticales, validando estos modelos con resultados experimentales en instalaciones previamente construidas.

Una investigación similar para el transporte en fase fluida es la desarrollada por Lampinen (1991). En la misma temática Hettiaratchi y Woodhead (1998) hacen una comparación entre las pérdidas de presión en tuberías horizontales y verticales donde establece la correlación entre ambas, minimizando la cantidad de experimentos a efectuar en el examen de los diferentes sistemas. En todos los artículos citados los autores no muestran el comportamiento del transporte de los materiales en las dos fases a la vez y no efectúan una exposición del comportamiento del consumo energético que delimite la zona de operación de un sistema en particular.

La modelación matemática del comportamiento de las mezclas bifásicas a través de codos ha sido ampliamente abordada en la literatura. En Cuba uno de los trabajos de relevancia es el de Lesme (1996), quien en su tesis doctoral expone una investigación teóricoexperimental de las pérdidas en codos para el transporte neumático del bagazo, completándose así el conocimiento para la confección de la metodología de cálculo del



transporte neumático de bagazo. Parte del movimiento de las partículas de bagazo a lo largo de la zona curva del codo y la zona de dispersión. Obtiene los valores teóricos de las pérdidas de presión de la corriente bifásica en ambas zonas, la variación de sus principales parámetros hidrodinámicos, la longitud de la zona de dispersión, los coeficientes teóricos de pérdidas y luego su validación en una instalación experimental. Se destaca además en este campo el trabajo de Bradley (1990) donde implementa ensayos para diferentes relaciones de radio de curvatura y geometría del codo. Estas investigaciones se limitan a determinados elementos de los sistemas de transporte neumático, teniendo un alcance específico para los materiales estudiados sin tener en cuenta la fase densa donde se alcanzan los menores consumos de energía.

La consulta de las investigaciones hechas hasta el momento no da respuesta a la problemática escogida. En su mayoría abordan elementos aislados de los sistemas de transporte neumático, sin completar el conjunto de conocimientos necesarios para proyectar, seleccionar y evaluar los sistemas de transporte neumático del mineral cubano. Esto impone la necesidad de ejecutar una investigación que contribuya a la mayor eficiencia de los sistemas actuales de transporte neumático en las industrias del níquel con tecnología carbonato amoniacal.

Las últimas publicaciones científicas que abordan la solución del problema del movimiento de sistemas bifásicos gas – sólido (Mason et al, 1998; Sommerfeld, 2002) utilizan simultáneamente las ecuaciones de balance de masa, de momentos y de energía. En Cuba los principales resultados se han obtenido en el transporte neumático de bagazo. Pacheco (1984); Lesme (1996), establecen la teoría para el transporte neumático de este material por tuberías horizontales, verticales y las pérdidas en codos, completándose así con este último el sistema de conocimientos teóricos y empíricos

para la confección de una metodología de cálculo que permite la proyección y selección de estas instalaciones.

El objetivo es obtener un modelo matemático del transporte neumático del mineral para la selección de los parámetros racionales en determinadas condiciones de trabajo.

3.2 DATOS INICIALES PARA EL CÁLCULO

3.2.1 Modelo teórico en fase densa

El desarrollo del modelo teórico para el transporte neumático del mineral en fases fluida y densa en tuberías horizontales y verticales se elabora a partir del uso simultáneo de las ecuaciones de balance de masa, de momentum y de energía. Para ello se considera un tubo inclinado hacia arriba con un ángulo δ desde la horizontal como se muestra en la figura 1.

El elemento de mezcla mostrado en la Figura 1 contiene el flujo de aire y partículas de mineral. Las densidades parciales de esos dos elementos son ρ_a y ρ_s , respectivamente y la porosidad es ε . Si la presión del aire es P , entonces la fuerza por unidad de área de la mezcla total que afecta el flujo de aire es $(\varepsilon \cdot P)$ y la fuerza por unidad de área que afecta el flujo de mineral es $(1 - \varepsilon) \cdot P$.

La ecuación de balance de momentum para las partículas de mineral en la dirección del eje "x".

$$\rho_s \frac{dV_s}{dt} = -\frac{d}{dx} [(1 - \varepsilon) \cdot P] - \rho_s \cdot g \cdot \sin \delta - F_{sp} + F_{gs} \quad (1)$$

Donde:

ρ_s -densidad del mineral laterítico; kg/m³

Donde:

P =presión del aire

ρ = densidad del mineral kg/m³

F_{sp} = Fuerza de fricción

F_{gs} = Fuerza de resistencia

ρ - densidad del mineral kg/m³ F_{sp} contiene la fuerza de interacción entre las diferentes partículas y la fuerza de fricción unidad causada por la interacción de las partículas de mineral con las paredes de la tubería. La fuerza de resistencia F_{gs} es de interacción entre el aire y el mineral, el opuesto de la fuerza $-F_{gs}$ es la que afecta el flujo de aire.

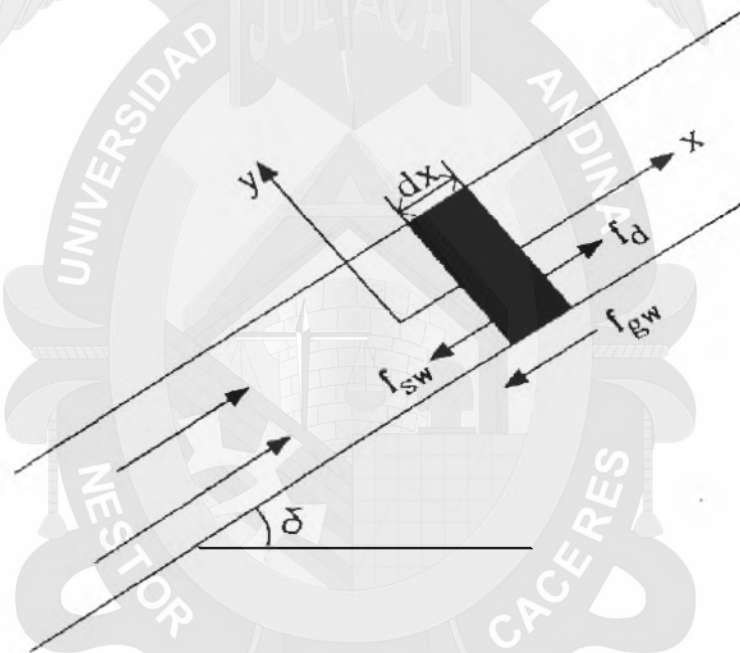


Figura 1. Fuerzas de fricción que afectan el movimiento de la mezcla gas-sólido durante el transporte neumático

La ecuación de balance de momentum para el flujo de aire en la dirección del eje "x" es:

$$\rho_g \frac{dV_g}{dt} = -\frac{d}{dx}(\varepsilon \cdot P) - \rho_g \cdot g \cdot \sin \delta - F_{gp} - F_{gs} \quad (2)$$

Donde F_{gp} es la fuerza de fricción causada por las paredes y F_{gs} es la misma fuerza de resistencia de la ecuación (1).

Las partículas de mineral vibran a lo largo del eje "y"; perpendicular al eje "x", cambia el perfil de la velocidad interna del aire, por lo que la fuerza de fricción no es la misma que en un tubo vacío. Se puede dividir la fuerza de fricción F_{gp} en dos partes:

$$F_{gp} = \frac{\lambda_g}{D} \cdot \frac{\rho_g}{2} \cdot V_g^2 + F_v \quad (3)$$

Donde:

F_v - Fuerza específica debido a la vibración del mineral; N/m³

λ_g - Coeficiente de fricción del gas

La primera parte de la ecuación 3 es la fricción del aire con las paredes sin la presencia de las partículas sólidas. La fuerza específica F_v incrementa a partir del hecho que nunca la velocidad ni la distribución de presión son uniformes a lo largo del eje "y" y este crea un modelo complicado de flujo de fluido, que implica una fuerza de fricción adicional en la dirección del eje "x".

Debido a la velocidad no uniforme y la distribución de presión a lo largo del eje "y" las partículas permanecen separadas y flotando en la corriente de gas. En un transporte vertical la fuerza F_v es obviamente cero, por lo que las partículas no tienden a caer y colectarse en el fondo del tubo. La fuerza F_v no puede ser incluida en la fuerza de resistencia F_{gs} , debido a que esta contribuye a que las partículas se desplacen hacia arriba en la dirección del eje X, mientras que F_v no afecta las partículas pero si al propio gas.

Para modelar la fuerza F_v de modo que esta implique el efecto de flotación y la caída de las partículas hacia el fondo del tubo se aplica el método de potencia vibracional, una adecuada revisión de este tópico ha sido representado por Mason et al (1998).

La potencia por unidad de volumen (W/m³) que se necesita para mantener las partículas flotando en la dirección del eje Y es:

$$P = \rho_s \cdot g \cdot \cos \delta \cdot V_f \cdot \cos \delta \quad (4)$$

La relación entre la potencia vibracional y la fuerza F_v se expresa por:

$$P = F_v \cdot V_g \quad (5)$$

Donde:

P – Potencia vibracional específica; W/m³

A partir de las ecuaciones (4) y (5) se obtiene:

$$F_v = \rho_s \cdot g \cdot \frac{V_f}{V_g} \cdot \cos^2 \delta \quad (6)$$

La suma de las ecuaciones (1) y (2) proporciona:

$$\rho_g \frac{dV_g}{dt} + \rho_s \frac{dV_s}{dt} = -\frac{dp}{dx} - \frac{\lambda_g}{D} \cdot \frac{\rho_g}{2} \cdot V_g^2 - \rho_g \cdot g \cdot \sin \delta - \rho_s \cdot g \cdot \sin \delta - F_v - F_{sp} \quad (7)$$

Para la fuerza V F se tiene la ecuación (6), pero se desconoce F_{sp}. El coeficiente de fricción total en la superficie de la tubería está compuesto por una fricción mecánica por el contacto entre las capas de partículas y la pared de la tubería, y una fricción viscosa ejercida por el contacto del fluido con las paredes del tubo (Matousek, 2002).

Diversas investigaciones han demostrado que la rugosidad de la pared tiene un efecto considerable en el proceso de colisiones de las partículas con la pared (Sommerfeld, 2002), en procesos industriales donde se emplean tuberías de acero en el transporte neumático, estas tienen rugosidad que se encuentra entre 20 y 50 μm. La distribución del ángulo rugoso puede ser representada por una función de distribución normal, la

desviación estándar de esta distribución es influenciada por la estructura de la superficie rugosa y por el diámetro de las partículas.

En la modelación de la fuerza de fricción sólido – pared se tiene en cuenta el movimiento de la mezcla bifásica no como un flujo homogéneo (esta vía de modelación es adecuada para el movimiento de las partículas separadamente) sino como una nueva clase de estructura.

$$F_{sp} = \frac{\lambda z^*}{D} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho_s \cdot V_s^2 \quad (8)$$

El coeficiente de fricción λz^* puede ser clasificado de dos formas:

coeficiente de fricción estática y dinámica. Este último provocado por el contacto de las partículas sólidas con las paredes al deslizarse por la tubería. Se debe encontrar experimentalmente para cada tipo de material y superficie rugosa, para ello se determina el ángulo y velocidad de deslizamiento sobre la superficie. Según los experimentos efectuados con mineral níquel y superficies similares a las utilizadas en las instalaciones industriales de las empresas del níquel, en el centro de investigaciones de materiales de la firma inglesa ClydeMaterialsHandling (2002) en una instalación experimental, el valor promedio de este coeficiente es $= 0,325 \cdot Z \lambda$, por lo que la ecuación (8) para el mineral níquel obtiene la forma siguiente:

$$F_{sp} = \frac{0,1625}{D} \cdot \rho_s \cdot V_s^2 \quad (9)$$

Sustituyendo las ecuaciones (8) y (9) en el balance de fuerzas general de la ecuación (7) se obtiene como resultado:

$$\rho_g \frac{dV_g}{dt} + \rho_s \frac{dV_s}{dt} = -\frac{dp}{dx} - \frac{\lambda_g}{D} \cdot \frac{\rho_g}{2} \cdot V_g^2 - \rho_g \cdot g \cdot \sin \delta - \rho_s \cdot g \cdot \sin \delta - \rho_s \cdot g \cdot \frac{V_f}{V_g} \cdot \cos^2 \delta - \frac{0.1625}{D} \cdot \rho_s \cdot V_s^2 \quad (10)$$

Si se desarrolla el lado izquierdo de la ecuación (10), las derivadas totales también llamadas derivadas materiales, son:

$$\frac{dV_g}{dt} = \frac{\partial V_g}{\partial t} + V_g \frac{\partial V_g}{\partial x} \quad (11)$$

$$\frac{dV_s}{dt} = \frac{\partial V_s}{\partial t} + V_s \frac{\partial V_s}{\partial x} \quad (12)$$

En un flujo estacionario la derivada parcial con respecto al tiempo desaparece, es decir.

$V_g = V_g(X)$ y $V_s = V_s(X)$, entonces:

$$\frac{dV_g}{dt} = V_g \frac{dV_g}{dx} \quad (13)$$

$$\frac{dV_s}{dt} = V_s \frac{dV_s}{dx} \quad (14)$$

Por otro lado, en estado estacionario el balance de masa para el gas en un tubo con un área de la sección transversal constante es simplemente:

$$\rho_g \cdot V_g = \text{const} = m_g \quad (15)$$

m_g^{\cdot} - Flujo másico de gas por unidad de área; $\frac{kg}{s \cdot m^2}$

Y el balance de masa para el flujo material es:

$$\rho_s \cdot V_s = const = \mu \cdot \rho_g \cdot V_g = \mu \cdot m_g^{\cdot} \quad (16)$$

Sustituyendo las ecuaciones (11 – 16) en (10) se obtiene:

$$-\frac{dp}{dx} = \rho_g \cdot V_g \left[\frac{dV_g}{dx} + \mu \frac{dV_s}{dx} \right] + \frac{\lambda_g}{D} \cdot \frac{\rho_g}{2} \cdot V_g^2 + \rho_g \cdot g \cdot \sin \delta \left[1 + \mu \frac{V_g}{V_s} \right] + \mu \cdot \rho_g \cdot \frac{V_g}{V_s} \left[g \cdot \frac{V_f}{V_g} \cdot \cos^2 \delta + \frac{0,1625}{D} \cdot V_s^2 \right] \quad (17)$$

La relación que existe entre la densidad parcial y real del gas es que la última está afectada por la porosidad de la mezcla, por lo que se puede plantear que $\rho_g = \varepsilon \cdot \rho$.

El balance de masa para el flujo de gas es $V_g \rho_g = \text{cte}$. De esta afirmación se obtiene la siguiente ecuación:

$$\rho_g \cdot \frac{dV_g}{dx} = -V_g \cdot \frac{d\rho_g}{dx} = -V_g \cdot \frac{d}{dx} \left(\frac{P \cdot M}{R \cdot T} \right) = -\frac{\rho_g}{P} \cdot V_g \cdot \frac{dP}{dx} \quad (18)$$

Donde:

P – Presión del gas; Pa

M – Masa molar del gas; Moles

T – Temperatura del gas; K

h – Entalpía del gas; kJ/kg

En la ecuación (18) se ha empleado la ley de los gases ideales y temperatura constante

de modo que $\frac{dP}{dx} < 0$ y $\frac{dV_g}{dx} > 0$ en la longitud de la tubería.

El primer término del lado derecho de la ecuación (17) se obtiene mediante las fuerzas inerciales debido a que con las pérdidas de presión la densidad del gas disminuye en la dirección del flujo y la velocidad g V se incrementa. Este es tratado como adiabático, el que a partir de un balance de energía se obtiene:

$$h + \frac{1}{2} \cdot V_g^2 = Const \quad (19)$$

Por otro lado el proceso de transporte neumático se puede considerar isotérmico $h = h(T)$, (la entalpía no depende de la presión), y ya que las velocidades son por lo general inferiores a los 30 m/s, se deduce de la ecuación (16) que

$$T \cong Const$$

La velocidad del material, V_s , también se incrementa como una función de "x", por lo que se puede plantear:

$$\frac{V_g - V_s}{V_{gA} - V_{sA}} = \sqrt{\frac{\rho_{GA}}{\rho_G}} = \sqrt{\frac{P_A}{P}} \quad (20)$$

Donde:

gA V - Velocidad del gas en el estado de referencia; m/s

SA V - Velocidad del sólido en el estado de referencia; m/s

GA ρ - Densidad real del gas en el estado de referencia; kg/m³

A P - Presión del gas en el estado de referencia; Pa

Para el cálculo de la velocidad de flotación en cualquier punto de la tubería se aplica la siguiente expresión:

$$V_f = f(\rho_G) = V_{fA} \cdot \sqrt{\frac{\rho_{GA}}{\rho_G}} = V_{fA} \cdot \sqrt{\frac{P_A}{P}} \quad (21)$$

El estado de referencia es considerado a presión atmosférica. Si se combinan las ecuaciones (18) y (20) se obtiene:

$$\frac{d}{dx}(V_g - V_s) = (V_{gA} - V_{sA}) \cdot \sqrt{P_A} \cdot (-1/2) \cdot P^{-\frac{3}{2}} \frac{dP}{dx}$$

De esta se obtiene:

$$\frac{dV_s}{dx} = (-1/2) \cdot \frac{(V_g + V_s)}{P} \frac{dP}{dx} \quad (22)$$

En la ecuación (17) se trabaja con la densidad parcial del gas (ρ_g) y del sólido (ρ_s) respectivamente, para un mejor desarrollo de la ecuación es necesario introducir el concepto de porosidad o fracción de vacío de la mezcla bifásica que se define por la siguiente expresión:

$$\varepsilon = \frac{\rho_g}{\rho_G} \quad (23)$$

De forma similar para el sólido se puede plantear la siguiente expresión:

$$(1 - \varepsilon) = \frac{\rho_s}{\rho_s} \quad (24)$$

La ecuación de continuidad para las partículas y el aire respectivamente son:

Para las partículas:

$$M_s = A \cdot V_s \cdot (1 - \varepsilon) \cdot \rho_s \quad (25)$$

Para el aire:

$$M_g = A \cdot V_g \cdot \varepsilon \cdot \rho_G \quad (26)$$

Donde:

A – Área de la sección transversal del conducto; m².

La concentración de sólido transportado se obtiene al dividir las ecuaciones (25) y (26).

Esta expresión puede ser empleada para determinar la porosidad de la mezcla bifásica.

$$\mu = \frac{M_s}{M_g} = \frac{V_s \cdot (1 - \varepsilon) \cdot \rho_s}{V_g \cdot \varepsilon \cdot \rho_g} \quad (27)$$

Sustituyendo las ecuaciones (18 – 27) en la ecuación (17) se obtiene:

$$\left[-1 + \frac{\varepsilon \cdot \rho_g \cdot V_g^2}{P} + \frac{1}{2} \cdot \varepsilon \cdot \rho_g \cdot \mu \cdot \frac{V_g \cdot (V_g + V_s)}{P} \right] \frac{dP}{dx} = \frac{\lambda_g}{D} \cdot \frac{\varepsilon \cdot \rho_g}{2} \cdot V_g^2 + \varepsilon \cdot \rho_g \cdot g \cdot \sin \delta \cdot \left(1 + \mu \cdot \frac{V_g}{V_s} \right) + \mu \cdot \varepsilon \cdot \rho_g \cdot \frac{V_g}{V_s} \cdot \left(g \cdot \frac{V_f}{V_g} \cdot \cos^2 \delta + \frac{0,1625}{D} \cdot V_s^2 \right) \quad (28)$$

En tuberías horizontales el $\sin \delta = 0$ y $\cos \delta = 1$, la ecuación 28 se reduce a la siguiente expresión:

$$\left[-1 + \frac{\varepsilon \cdot \rho_g \cdot V_g^2}{P} + \frac{1}{2} \cdot \varepsilon \cdot \rho_g \cdot \mu \cdot \frac{V_g \cdot (V_g + V_s)}{P} \right] \frac{dP}{dx} = \frac{\lambda_g}{D} \cdot \frac{\varepsilon \cdot \rho_g}{2} \cdot V_g^2 + \mu \cdot \varepsilon \cdot \rho_g \cdot \frac{V_g}{V_s} \cdot \left(g \cdot \frac{V_f}{V_g} + \frac{0,1625}{D} \cdot V_s^2 \right) \quad (29)$$

En tuberías verticales $\sin \delta = 1$ y $\cos \delta = 0$ y se obtiene la siguiente expresión:

$$\left[-1 + \frac{\varepsilon \cdot \rho_g \cdot V_g^2}{P} + \frac{1}{2} \cdot \varepsilon \cdot \rho_g \cdot \mu \cdot \frac{V_g \cdot (V_g + V_s)}{P} \right] \frac{dP}{dx} = \frac{\lambda_g \cdot \varepsilon \cdot \rho_g \cdot V_g^2}{2 \cdot D} + \varepsilon \cdot \rho_g \cdot g \cdot \left(1 + \mu \cdot \frac{V_g}{V_s} \right) + \mu \cdot \varepsilon \cdot \rho_g \cdot \frac{V_g}{V_s} \cdot \frac{0,1625}{D} \cdot V_s^2 \quad (30)$$

La expresión (28) constituye la ecuación final del modelo teórico para el cálculo de las pérdidas de presión en el transporte neumático del mineral níquel en tuberías en fase densa. En ella se necesita identificar dos parámetros: la velocidad del sólido y la velocidad de flotación de las partículas. Uno y otro constituyen una función de la longitud de la tubería según se observa en las ecuaciones (20) y (21). La simplificación

de esta expresión en tramos horizontales y verticales se plantea en las ecuaciones (29) y (30).

El modelo obtenido para el transporte en fase densa se utiliza con bastante exactitud en la fase fluida; las diferencias fundamentales se encuentran en la forma de interacción

sólido – sólido, sólido – pared y en la consideración en fase fluida de la porosidad cercana a la unidad (Neidigh, 2002; Rodes, 2001; Massoudi, 1999).

3.2.2 Procedimiento para la solución del modelo matemático

El modelo teórico del transporte neumático está expresado por cuatro ecuaciones diferenciales de primer orden (29 y 30) y varias ecuaciones de enlace. Para la solución de las mismas es necesario ajustar los parámetros característicos de cada material investigado a partir de los resultados experimentales, estos son:

Velocidad de flotación

Velocidad del mineral

Al establecer la velocidad del mineral con el empleo del modelo se utiliza el término velocidad relativa que se define como la diferencia entre la velocidad del gas y la velocidad del material

$(V_g - V_s)$, esta se obtiene mediante el ajuste del modelo a los resultados experimentales.

El método empleado para resolver las ecuaciones diferenciales del modelo teórico y determinar la velocidad relativa entre el gas y el material es Runge – Kutta cuarto orden. Las ecuaciones del modelo se expresan en la forma:

$$-\frac{dp}{dx} = f(V_{gX}; V_{sX}; V_{fX}; \rho_{GX})$$

y la derivada es calculada en cada punto con el uso de los valores previos conocidos de V_g ; V_s ; V_f ; P .

Con la caída de presión existe un incremento de la velocidad del gas y la variación de otros parámetros tales como: densidad, velocidad de flotación y velocidad del material. Para considerar la variación de los parámetros a identificar en el modelo con la presión se emplean las siguientes ecuaciones:

$$V_{fX} = V_{fA} \cdot \sqrt{\frac{P_A}{P_X}} \quad (31)$$

$$V_{gX} - V_{sX} = (V_{gA} - V_{sA}) \cdot \sqrt{\frac{P_A}{P_X}} \quad (32)$$

Donde el subíndice (A) representa el estado de referencia a presión atmosférica y (x) se refiere al valor de los parámetros en cualquier punto del sistema.

3.2.3 Algoritmo de identificación del modelo

La tarea de identificación del modelo matemático consiste en la determinación de los parámetros característicos del mineral [velocidad de flotación (V_f) y velocidad relativa entre el gas y el sólido ($V_g - V_s$)] para los que se garantiza la adecuación del modelo que describe el proceso. De ahí que sea necesario comparar los valores de las características Y_o del proceso tecnológico real:

$\left[\left(\frac{dp}{dx} \right)_{\text{exp}} \right]$ con las magnitudes Y_M a la salida del objeto $\left[\left(\frac{dp}{dx} \right)_{\text{teórico}} \right]$

por las ecuaciones (29 y 30). Es mejor aquel juego de parámetros para el que se minimiza la medida de las cercanías de las magnitudes Y_o y Y_M .

$$[Y_o - Y_M] \rightarrow \min \quad (33)$$

En la identificación del modelo es necesario variar los parámetros en dependencia de la medida de diferencia de los componentes de las características Y_o y Y_M , para ello se utiliza el procedimiento iterativo a partir del estado de referencia y el método de Runge – Kutta cuarto orden que toma en cuenta el comportamiento de la derivada en cuatro puntos de cada intervalo. Este método como parte del proceso iterativo se utiliza para resolver el modelo teórico y encontrar los valores de los parámetros característicos en el mineral (velocidad de flotación y velocidad relativa entre el gas y el sólido).

El algoritmo de identificación de acuerdo con los planteamientos anteriores se muestra en la figura 2.

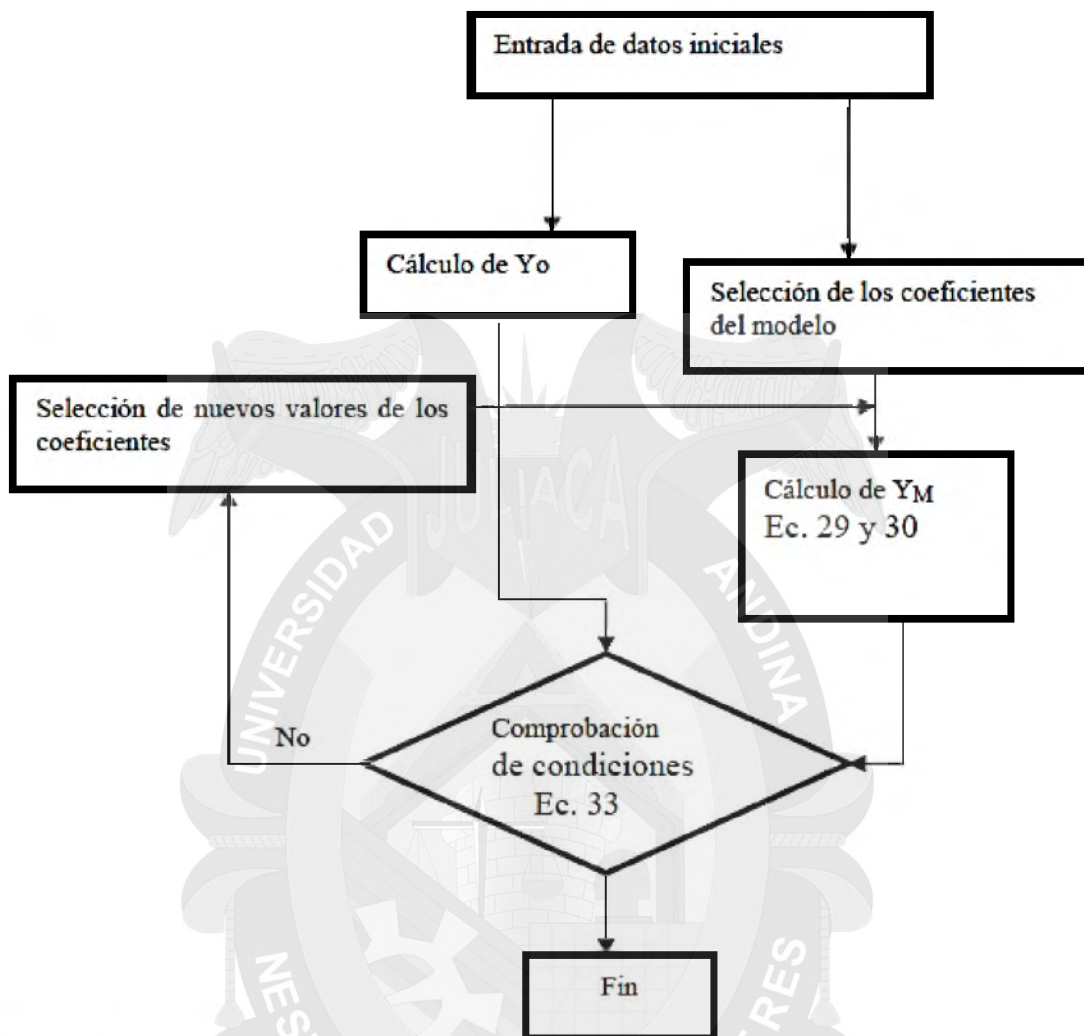


Figura 2. Algoritmo de identificación

La confirmación de la validez de los valores experimentales con el modelo teórico se desarrolla a través del error relativo, o sea, la diferencia entre el módulo del valor experimental “Xexp” de la caída de presión y el valor teórico “Xteo” obtenido por el modelo para las mismas condiciones del experimento.

El error relativo puntual se calcula por la siguiente expresión:

$$E_p = \left| \frac{X_{exp} - X_{teo}}{X_{exp}} \right| \cdot 100 \quad (34)$$

El error relativo promedio se expresa por:

$$E = \sum_{i=1}^n \left| \frac{X_{\text{exp}} - X_{\text{teo}}}{X_{\text{exp}}} \right| \cdot \frac{100}{n} \quad (35)$$

RESULTADOS

En la tabla 1 se exponen los valores de velocidad de flotación y velocidad relativa para cada uno de los diámetros de partículas con el fin de minimizar los errores relativos.

Tabla 1. Valores de velocidad relativa y velocidad de flotación para los diferentes diámetros de partículas

dx (mm)	Tubería horizontal			Tubería vertical		
	$V_{gd} - V_{\Delta d}$ (m/s)	V_{fa} (m/s)	E (%)	$V_{gd} - V_{\Delta d}$ (m/s)	V_{fa} (m/s)	E (%)
0,250	4,27	5,21	7,84	2,32	5,21	7,10
0,1875	3,6	4,74	8,02	1,97	4,74	8,53
0,1075	3,39	3,83	9,31	1,51	3,83	10,07
Mezcla	5,18	5,21	9,54	2,74	5,21	7,04

El error relativo promedio, en todos los casos, se encuentra por debajo del 10,1% y de acuerdo con los errores relativos puntuales el 87% de ellos estuvo por debajo del 10%. Esto confirma la validez de los resultados obtenidos a partir de la modelación teórica de los sistemas de transporte neumático.

Comportamiento de la caída de presión en función de la velocidad del gas para tuberías horizontales y verticales. Con el empleo de los parámetros del modelo, característicos para el mineral (tabla 1), se estudia el comportamiento de la caída de presión en función de la velocidad del gas para los diferentes diámetros de las partículas manipulados en los experimentos. En la figura 3 se exponen los valores de dependencia de las pérdidas de presión para diferentes flujos másico de sólido. En todos los casos se usa un diámetro

de tubería de 100mm, el modelo teórico y los valores de velocidad relativa y de flotación de la tabla 1.

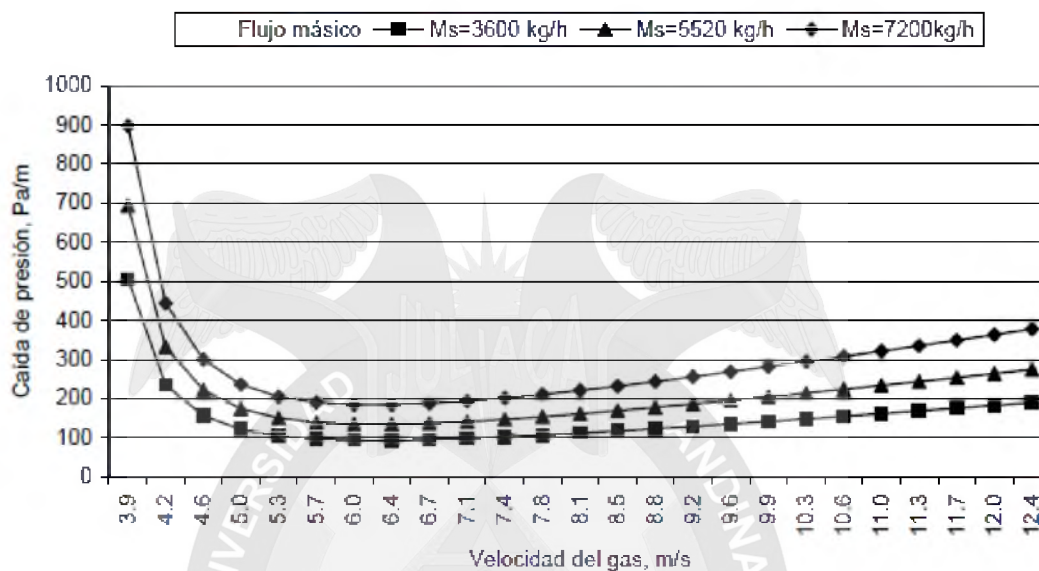


Figura 3. Comportamiento de la caída de presión en función de la velocidad del gas en tuberías horizontales y $dx =$ mezcla de material.

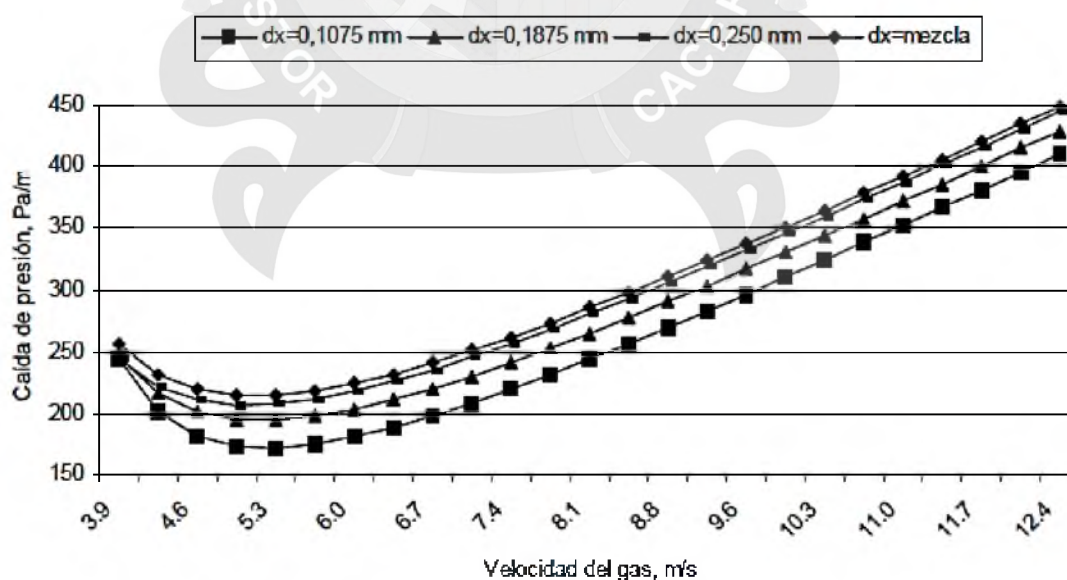


Figura 4. Comportamiento de la caída de presión en función de la velocidad del gas en tuberías horizontales y $Ms = 7200$ kg/h.

La figura 4 expone la influencia de la velocidad del gas en las pérdidas de presión durante el transporte neumático del mineral. Los resultados muestran que independientemente del diámetro de las partículas con el incremento del flujo de gas se

produce una reducción de la caída de presión hasta alcanzar un valor determinado a partir del que comienza nuevamente a crecer.

En la zona de mínima caída de presión, la reducción de la velocidad provoca un rápido incremento de la concentración de sólido y se alcanza un punto donde el gas no puede arrastrar todo el material, depositándose en el fondo de la tubería. El fenómeno es conocido como “transporte a saltos” y es identificado por grandes fluctuaciones de presión.

La velocidad de transporte a saltos es definida como la más baja velocidad en la que el transporte en fase fluida puede ser operado con una alimentación de sólido determinada. Con el incremento de la alimentación de sólido la velocidad de choque es mayor; esta marca el límite entre las fases fluida y densa en el transporte horizontal. Nótese que la velocidad de transporte a saltos se puede obtener si se reduce la velocidad del gas para un flujo de sólido constante o por incremento del flujo de sólido para una velocidad del gas constante.

Una vez conocidos estos resultados, además de establecer la velocidad de tránsito entre las fases densa y fluida se pueden construir las características de transporte neumático en las condiciones industriales, determinar los parámetros racionales, definir el consumo específico de energía y simular el comportamiento en cualquier otra condición de trabajo del sistema.

El comportamiento del transporte neumático del mineral níquel en tuberías horizontales muestra diferencias considerables en relación con el transporte en la línea vertical, estas

se observaron a través de tuberías transparentes conectadas en ambas líneas y a partir del análisis en el comportamiento de los diferentes parámetros de los sistemas.

El comportamiento de la caída de presión en tuberías verticales en función de la velocidad del gas para los diferentes diámetros de las partículas y flujo másico de gas se observa en las figuras 5 y 6.

En las figuras siguientes se observa, al igual que en el transporte horizontal, una zona de caída de presión mínima donde se localiza el tránsito entre la fase densa y fluida. Este fenómeno se conoce como "choque" y la velocidad donde ocurre el mismo se le llama "velocidad de choque".

De acuerdo con los resultados obtenidos para un diámetro de tubería de 100mm y un flujo de sólido constante, la velocidad de choque es siempre menor que la de transporte

a saltos en tuberías horizontales; además en los sistemas de transporte neumático la velocidad de paso entre una fase y otra debe ser seleccionada a partir de la de transporte a saltos.

Las pérdidas de presión en el transporte vertical son mayores que en el horizontal, este comportamiento en el mineral laterítico se expone en las figuras 7 y 8.

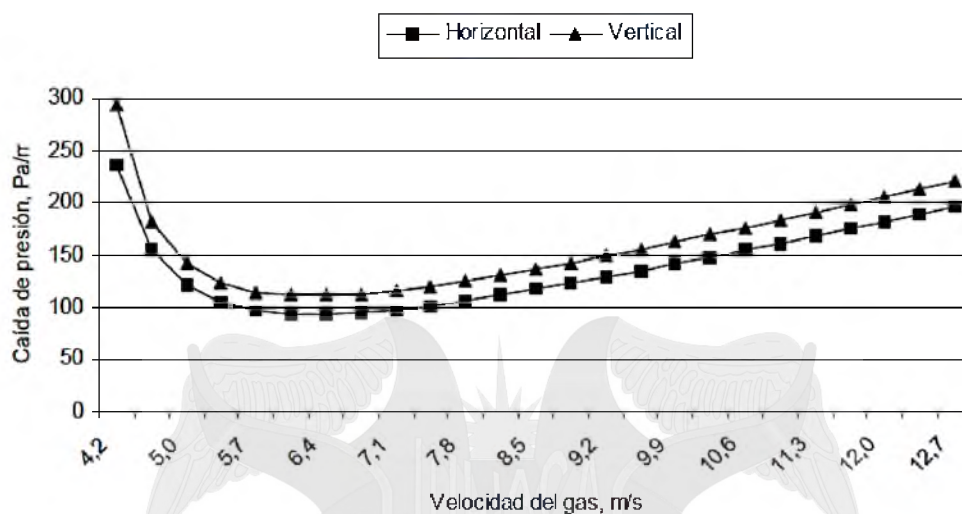


Figura 7. Comparación de la caída de presión en función de la velocidad del gas en tuberías horizontales y verticales $M_s = 3600$ kg/h.

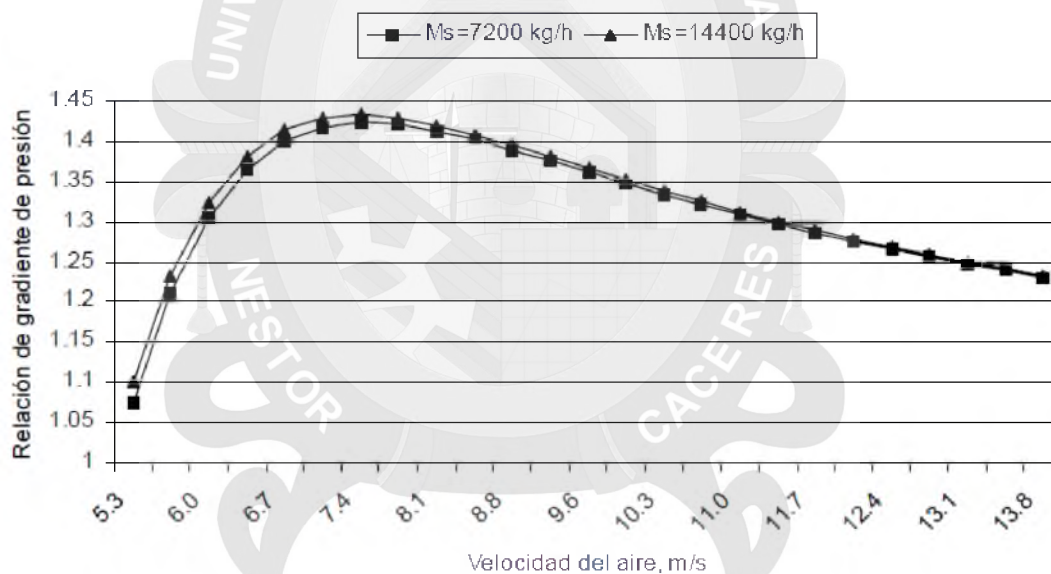


Figura 8. Comportamiento de $(dp/dx)_{\text{vertical}}/(dp/dx)_{\text{horizontal}}$ en función de la velocidad del gas.

En la figura 8 se observa que el cociente de presión entre ambas líneas se encuentra entre 1.1 y 1.45 en función de la velocidad del gas en que trabaje el sistema, esto permite seleccionar el comportamiento del transporte en una línea si se conocen con anterioridad las características de transporte en la otra. Los mayores valores del cociente



se encuentran en la zona de tránsito entre la fase densa y fluida; se observa además un incremento del mismo con el aumento del flujo másico de material transportado.

El modelo empírico - teórico en el transporte neumático del mineral níquel está formado por dos ecuaciones diferenciales (29 y 30) que describen el comportamiento del proceso, incluyéndose además varias ecuaciones de enlace. Se identifica mediante la aplicación de un algoritmo que permite la comparación de los resultados experimentales y los arrojados por el modelo.

En tuberías horizontales el valor de velocidad de flotación se encuentra entre 3,83 m/s y 5,21 m/s, la velocidad relativa entre el gas y el sólido en el estado de referencia a presión atmosférica oscila entre 3,39 y 5,18 m/s en función del diámetro de las partículas. El error relativo promedio en la estimación de los parámetros está por debajo del 9,54%.

El valor de velocidad de flotación en tuberías verticales coincide con el transporte horizontal, la velocidad relativa entre el gas y el sólido en el estado de referencia a presión atmosférica oscila entre 1,51 m/s y 2,74 m/s en función del diámetro de las partículas. El error relativo promedio en la estimación de los parámetros está por debajo del 10,07%.

El transporte neumático del mineral níquel se realiza en fase densa discontinua en zonas inferiores a los 6,12 m/s en el transporte horizontal y 5,21 m/s en el vertical. La zona de transporte en fase densa continua se extiende hasta los 18 m/s en ambos casos.



CAPÍTULO IV

MODELAMIENTO Y SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE TRANSPORTE NEUMÁTICO CON UN SOFTWARE DE DISEÑO DE INGENIERÍA MECÁNICA

La confirmación de la validez de los valores experimentales con el modelo teórico se desarrolla a través del error relativo, o sea, la diferencia entre la caída de presión y la velocidad del gas, haciendo el ingreso de datos de los diferentes tipos de materiales ya como es los minerales que está en estudio en nuestro trabajo de investigación a desarrollarse.

Ingreso de datos.

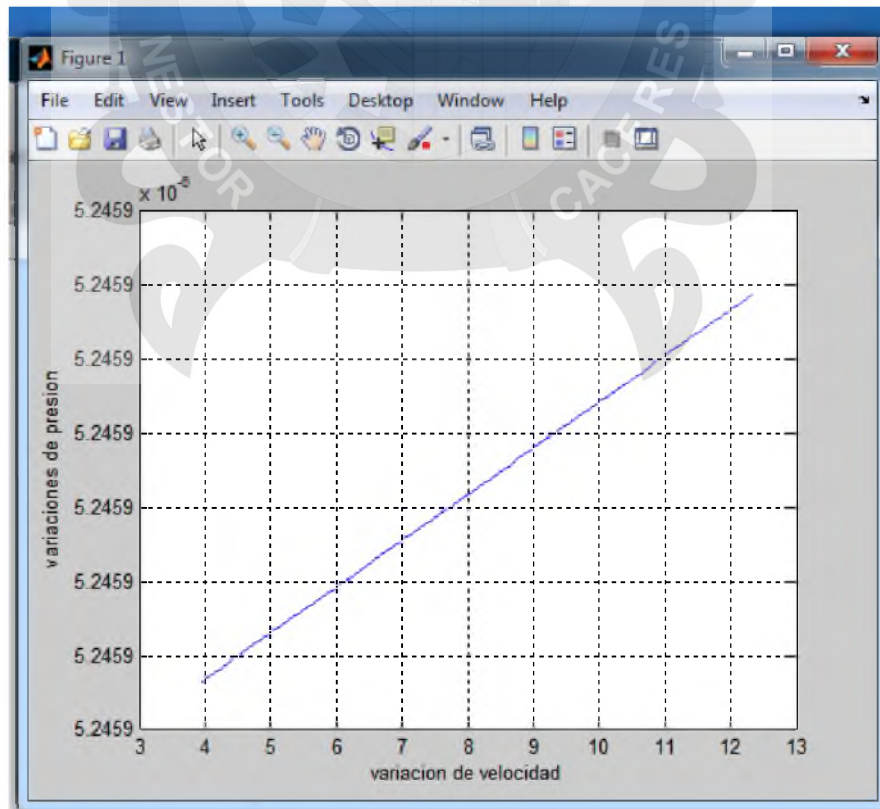
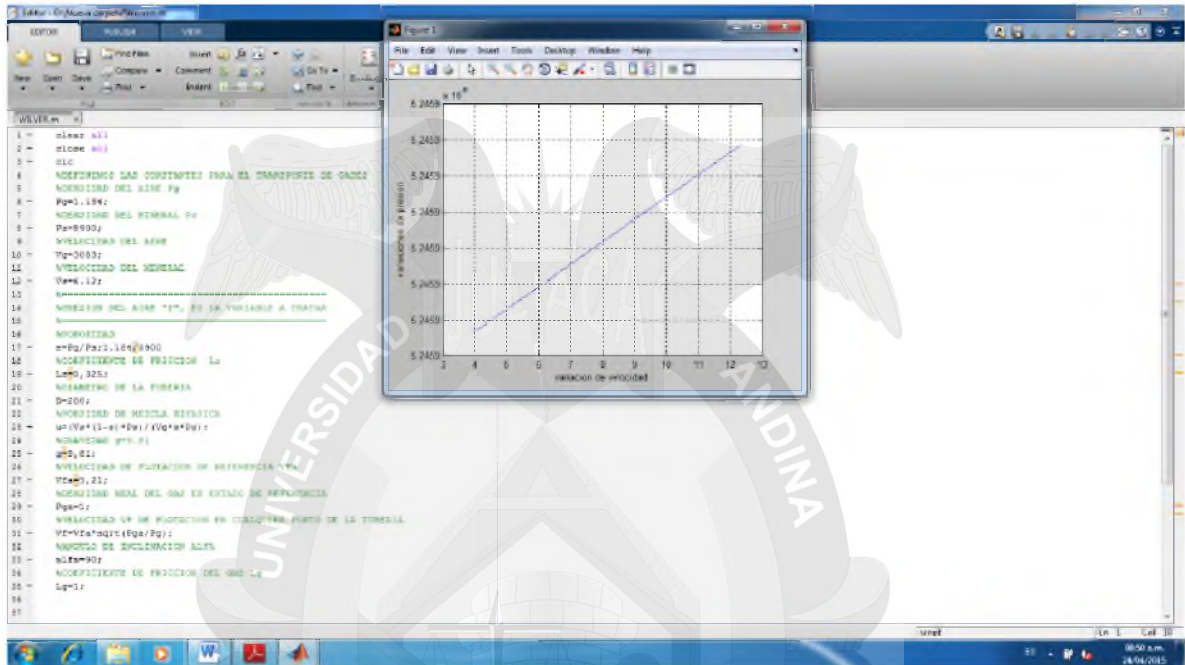
el ingreso de datos a desarrollarse es la siguiente:

```
clear all
close all
%DEFINIMOS LAS CONSTANTES PARA EL TRANSPORTE DE GASES
%DENSIDAD DEL AIRE Pg
Pg=1.184;
%DENSIDAD DEL MATERIAL NIQUEL Ps
Ps=9800;
%VELOCIDAD DEL AIRE
Vg=3.83;
%VELOCIDAD DEL MAIZ
Vs=6.12;
%=====
%PRESION DEL AIRE "P", ES LA VARIABLE A TRATAR
%=====
%POROSIDAD
e=Pg/Ps;1.184/1500
%COEFICIENTE DE FRICCION Lz
Lz=0,325;
%DIAMETRO DE LA TUBERIA
D=57.7;
%POROSIDAD DE MEZCLA BIFASICA
u=(Vs*(1-e)*Ps)/(Vg*e*Pg);
%GRAVEDAD g=9.81
g=9,81;
%VELOCIDAD DE FLOTACION DE REFERENCIA Vfa
Vfa=5,21;
%DENSIDAD REAL DEL GAS EN ESTADO DE REFERENCIA
Pga=1;
%VELOCIDAD VF DE FLOTACION EN CUALQUIER PUNTO DE LA TUBERIA
Vf=Vfa*sqrt(Pga/Pg);
%ANGULO DE INCLINACION ALFA
alfa=90;
%COEFICIENTE DE FRICCION DEL GAS Lg
Lg=1;

A=((Lg*e*Pg*Vg*Vg)/(2*D))+(e*Pg*g*sin(alfa)*(1+(u+(Vg/Vs)))+(u*e*Pg*(Vg/Vs)*(g*(Vf/Vg)*cos(alfa)*cos(alfa)+(0.1625/D)*Vs*Vs)));
B=e*Pg*Vg*Vg;
C=((e*Pg*u*Vg*(Vg+Vs))/2);
x=3.9:0.1:12.4;
f=(A*x)./(-x+B+C)
d=diff(f)./diff(x)
```



```
n=length(x);
xm=(x(1:n-1)+x(2:n))./2;
plot(xm,d);
xlabel('variacion de velocidad')
ylabel('variaciones de presion')
grid
```



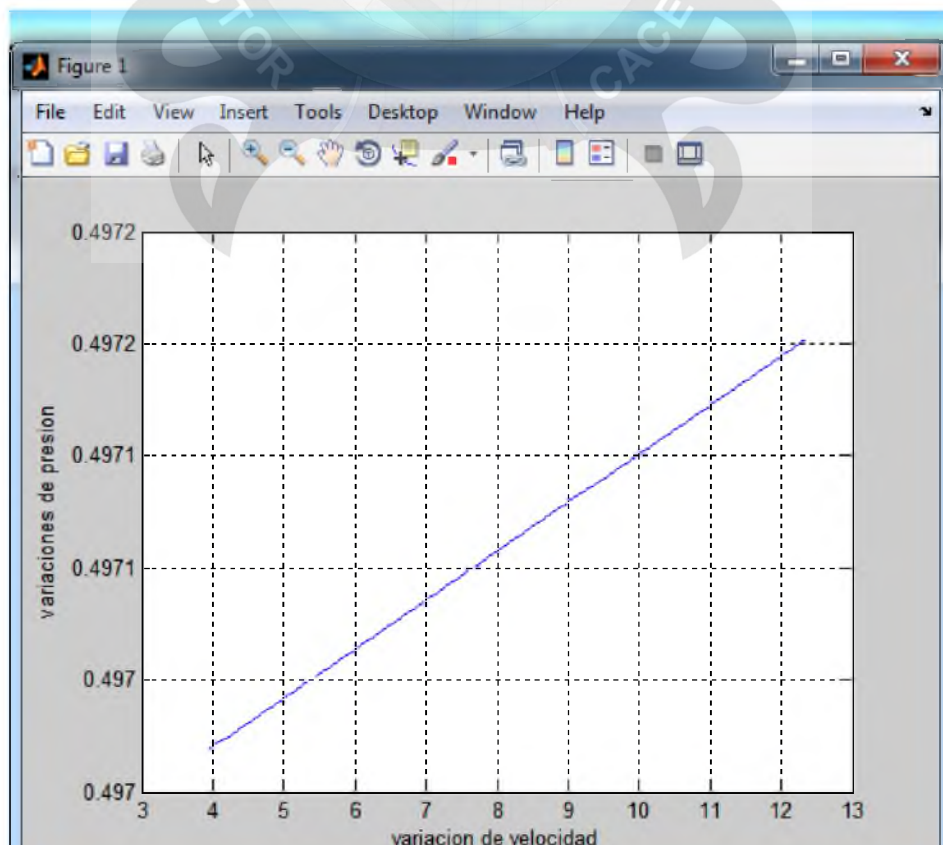
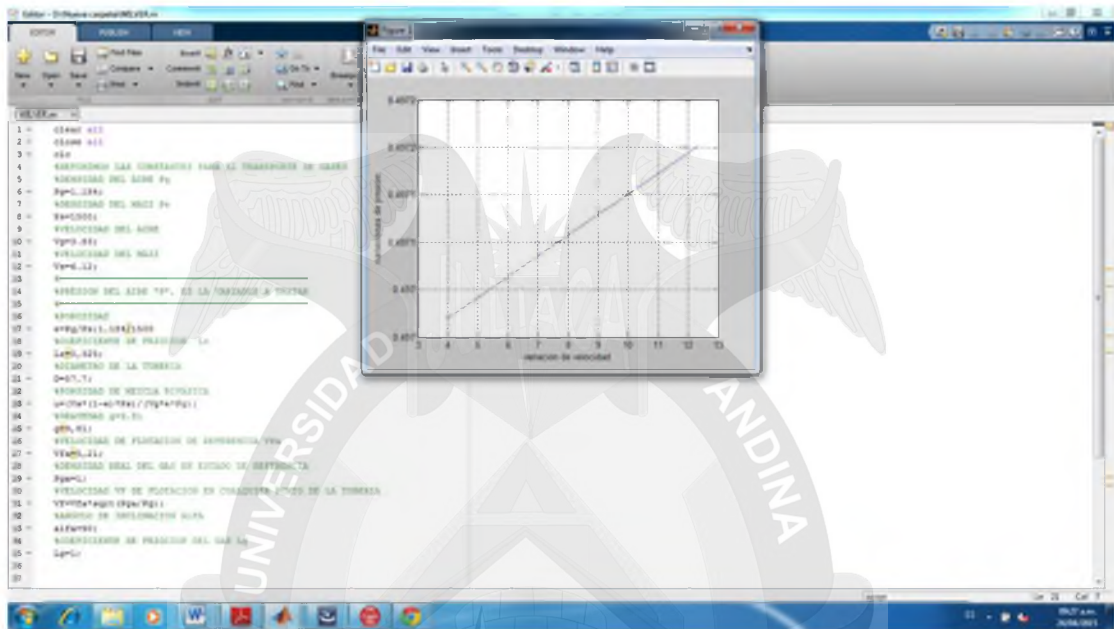
El comportamiento del níquel en la caída de presión en tuberías verticales en función de la velocidad del gas para los diferentes diámetros de las partículas y flujo másico de gas se observa en las figuras

En los ensayo de prueba en granos del maíz, y haciendo el uso del software matlab simulink introducimos los datos del maíz

```
clear all
close all
clc
%DEFINIMOS LAS CONSTANTES PARA EL TRANSPORTE DE GASES
%DENSIDAD DEL AIRE Pg
Pg=1.184;
%DENSIDAD DEL MAIZ Ps
Ps=1500;
%VELOCIDAD DEL AIRE
Vg=3.83;
%VELOCIDAD DEL MAIZ
Vs=6.12;
%=====
%PRESION DEL AIRE "P", ES LA VARIABLE A TRATAR
%=====
%POROSIDAD
e=Pg/Ps;1.184/1500
%COEFICIENTE DE FRICCION Lz
Lz=0,325;
%DIAMETRO DE LA TUBERIA
D=57.7;
%POROSIDAD DE MEZCLA BIFASICA
u=(Vs*(1-e)*Ps)/(Vg*e*Pg);
%GRAVEDAD g=9.81
g=9,81;
%VELOCIDAD DE FLOTACION DE REFERENCIA Vfa
Vfa=5,21;
%DENSIDAD REAL DEL GAS EN ESTADO DE REFERENCIA
Pga=1;
%VELOCIDAD VF DE FLOTACION EN CUALQUIER PUNTO DE LA TUBERIA
Vf=Vfa*sqrt(Pga/Pg);
%ANGULO DE INCLINACION ALFA
alfa=90;
%COEFICIENTE DE FRICCION DEL GAS Lg
Lg=1;

A=((Lg*e*Pg*Vg*Vg)/(2*D))+(e*Pg*g*sin(alfa)*(1+(u+(Vg/Vs)))+(u*e*Pg*(V
g/Vs)*(g*(Vf/Vg)*cos(alfa)*cos(alfa)+(0.1625/D)*Vs*Vs)));
B=e*Pg*Vg*Vg;
C=((e*Pg*u*Vg*(Vg+Vs))/2);
x=3.9:0.1:12.4;
f=(A*x)./(-x+B+C)
d=diff(f)./diff(x)
n=length(x);
xm=(x(1:n-1)+x(2:n))./2;
plot(xm,d);
```

```
xlabel('variacion de velocidad')
ylabel('variaciones de presion')
grid
```



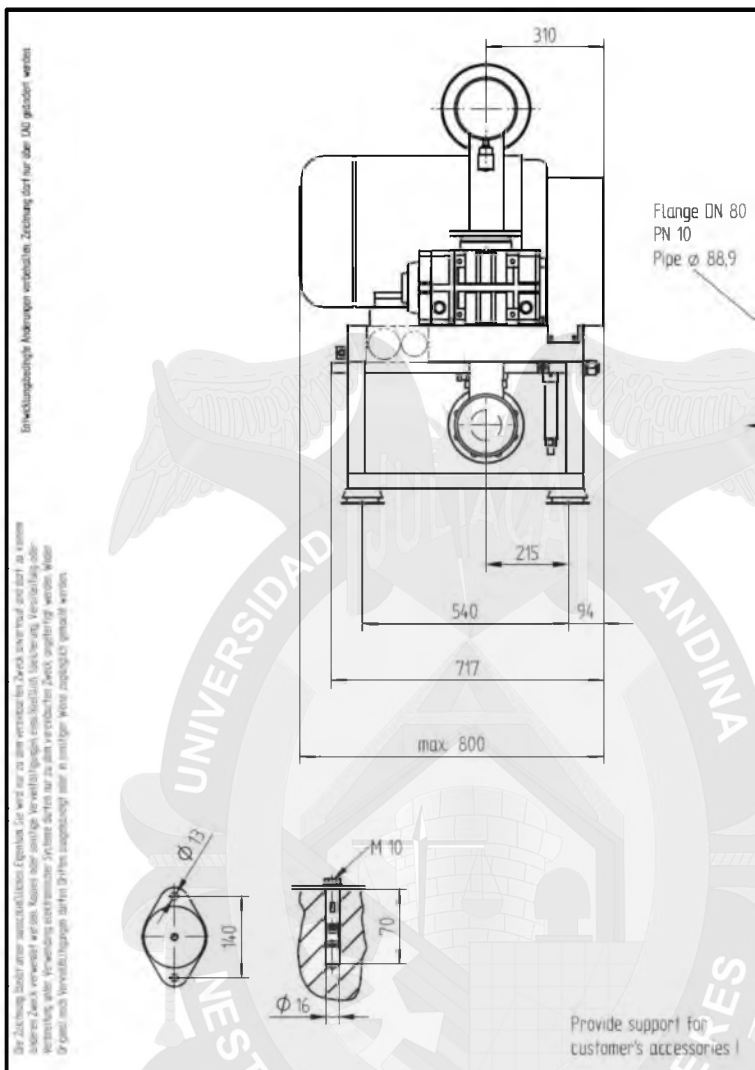
Claramente se observara la variación de la presión – variación de la velocidad del gas, mayor flujo de sólidos (y relación descarga), mayor debe ser la velocidad del aire del transporte para evitar problemas de inestabilidad y eventuales obstrucciones de la cañería.

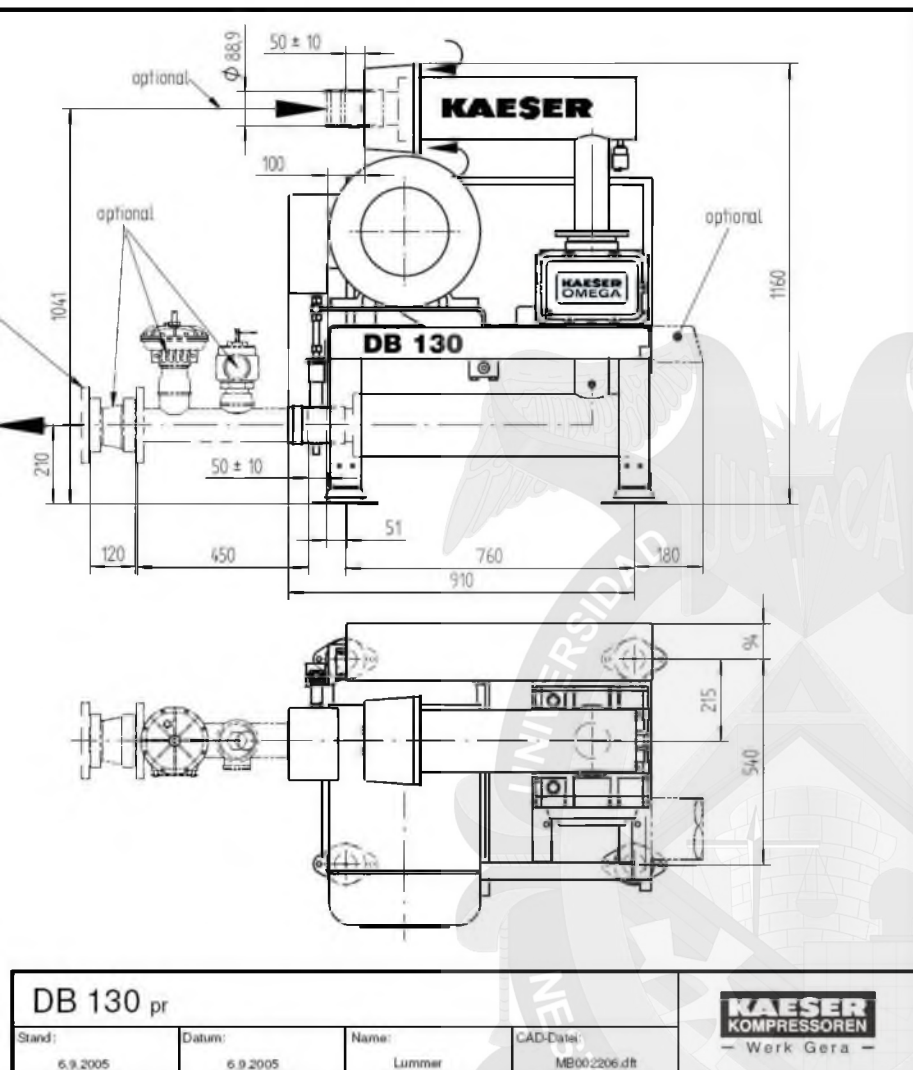


Ensayos con maíz: Punto de alimentación de material a alta velocidad y sin acumulación.



Ensayos con granos de maíz: Transporte horizontal a baja velocidad (deposición de partículas).





CONCLUSIONES

- 1- El programa utilizado nos ha facilitado la selección de materiales pues tiene programado ese aspecto lo que permite comprobar mediante esfuerzos la resistencia de los componentes en forma casi real.
- 2- El transporte neumático tiene una serie de procesos que son completamente ecológicos, es decir, su manipulación y funcionamiento ayudan a preservar el medio ambiente debido a la hermeticidad de todos sus componentes.
- 3- El uso de este tipo de máquinas en la minería del altiplano es completamente factible e incluso económico, podríamos decir que es costosa la instalación de la máquina así como las acciones de adecuación de áreas productivas.
- 4- El mantenimiento de este tipo de transportadores neumáticos se realiza una vez al año pues todo el sistema es completamente cerrado lo que permite la facilidad de funcionamiento sin necesidad de ajustes constantes.
- 5- La productividad se incrementaría al realizarse la fabricación de transportadores neumáticos según los diseños que alcanzamos en el presente proyecto de tesis.

RECOMENDACIONES

- 1- Recomendamos que este estudio, se utilice como material de consulta, para su posible complementación por estudiantes y profesionales así como docentes de la Carrera y afines.
- 2- Que se continúe profundizando en el estudio y desarrollo de este tema, por su importancia para el desarrollo de los servicios de transporte en minería y otros que son de utilidad para la región, el país y la economía nacional.
- 3- Enunciamos la necesidad de la divulgación y promoción de los estudios relacionados con la temática de los transportadores neumáticos.
- 4- Se debe trabajar a nivel del país para crear los espacios suficientes dedicados a la producción de materiales biocompatibles.

BIBLIOGRAFIA Y FUENTES DE INFORMACION

- 1- Avner, Sydney H., Introducción a la Metalurgia Física. Editorial Ciencia y Técnica. La Habana, 1970. 559 p
- 2- Análisis químicos y ensayos para la Siderurgia y sus Materias Primas. Recopilación de Normas UNE, tomo2. 625 p.
- 3- Barinov, N. y Landa, A. Metalurgia y Metalografía. Editorial Mir. Moscú. 221 p.
- 4- Colectivo de autores Hornos de cámara y tubulares, Editorial Afora, Suecia, 2007, 82p
- 5- Díaz, Yusdel, (2007), ¨ Propuesta para el desarrollo de una tecnología metalúrgica en la producción de aleaciones metálicas biocompatibles", Tesis de diploma al grado de Ingeniería, La Habana, Cuba, CUJAE.
- 6- Guliaev A. P. Metalografía. Editorial Mir Moscú, 1978. Tomo I. 334 p
- 7- Guliaev A. P. Metalografía. Editorial Mir Moscú, 1978. Tomo II. 329 p
- 8- Greanes, Henry Richard y Wrighton, Harold. Metalografía. Microscopía Práctica. España, 1979. 229 p.
- 9- Gordon W. Un mundo de metales, Editorial ICME, Argentina, 2005, 236p
- 10- Piedra, Humberto y Vital, Boldov. Influencia de las inclusiones no metálicas en las cualidades tecnológicas de las aleaciones. Empresa Siderúrgica Antillana de Acero. 7 p.



11- Pero-Sanz Elorz, José Antonio. Ciencia e Ingeniería de Materiales, tercera edición 1996. 655 p

Artículos:

12- Análisis estructural y mecánico de implantes O.M Baudino y otros Argentina

13- Biomateriales para la rehabilitación del cuerpo humano Benjamín Valdez R.

14- Evaluación de aleaciones base níquel en sistemas tribocorrosivos. Roberto Sagarro Zamora Universidad de Oriente

15- Rhines, F.N. Microestructología. Revista de Metalurgia. CENIM. Vol 22 (1). Madrid, 1986. p 3-35.

16- Rincón Rengifo, Horacio. Metalurgia. Ediciones de Ciencia y Técnica.

La Habana, 1971. 416 p

www.altavista/búsqueda/&%materiales

www.babylon.com/definition/material_biocompatible/Spanish

www.ciencialatina.ug/galeriadeimagenes//

www.infoambiental.es/actualidad/detalle_actualidad/asset_publisher/Utf7/content/

www.infomed.sld.cu/articulos/ortodoncia/1205

www.libreriavirtual/normasastm/9510

www.materia.coppe.ufrj.br/sarra/artigos/artigo10313

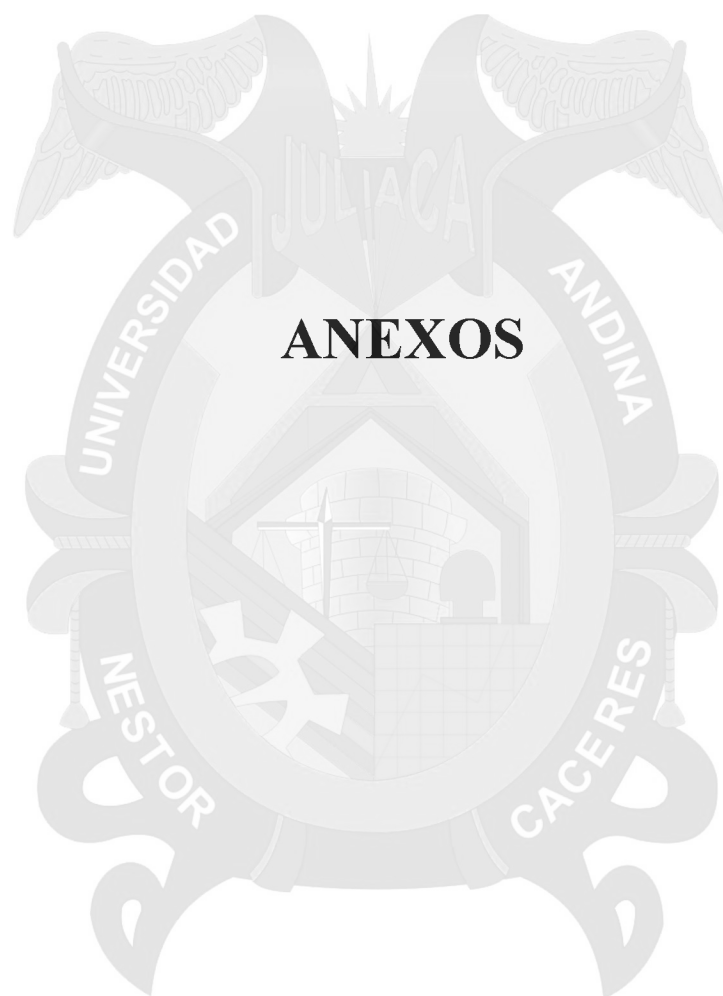
www.masachusettscenteria.org/library

www.niquel.org/aleaciones/otras/161

www.revistacientificamexicana.org/articulos

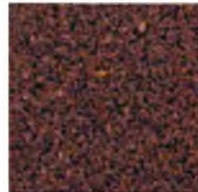
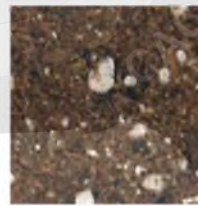
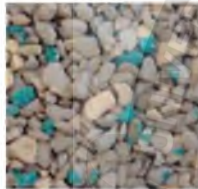
www.sitiolibre.com/aleacionesnoferrosas/niquel

www.okfordiagnosis.com



ANEXOS

DYNAMIC AIR



16 Conceptos de Transporte Neumático



Dynamic Air Inc. Sede Central, St. Paul, Minnesota, USA



Dynamic Air Ltd., Milton Keynes, Reino Unido



Dynamic Air Ltda., Sao Paulo, Brasil

A partir de este momento, disipemos algunos mitos

Todo el mundo dice que su sistema es el mejor para todo tipo de aplicaciones.

Hechos: Dynamic Air es uno de los líderes mundiales en sistemas de transporte neumático.

1. Cada sistema vendido por Dynamic Air es un diseño a la medida, con más de 10.000 sistemas en el mundo.
2. Nuestros sistemas utilizan la mejor tecnología disponible para lograr el desempeño óptimo con las más altas eficiencias.
3. Nuestros sistemas aportan lo último en fiabilidad, con capacidades tan reducidas como de poco más de 100 kilos hasta superiores a 400 toneladas/hora y distancias mayores de 1500 m.
4. Dynamic Air ha desarrollado 16 conceptos diferentes de transporte neumático, utilizando la presión de aire o el vacío, para tratar una extensa variedad de sólidos y graneles con un gran abanico de aplicaciones.
5. Nuestros suministros y servicios son totales. (Un sistema puede incluir: pesaje, tratamiento de lotes, homogeneización, mezcla, desterronado, almacenaje, equipos de control y mucho más). Y ofrecemos un laboratorio de tamaño industrial con lo último en tecnología y el más alto nivel de experiencia y conocimientos técnicos dentro de esta actividad.

Este folleto expone cómo nuestros sistemas pueden mejorar su proceso de transporte en eficacia, fiabilidad y rentabilidad general. Pero tenga en cuenta que la fabricación de sistemas de la más alta calidad no es más que una parte de nuestra historia de éxitos. Dynamic Air ha construido su reputación escuchando a sus clientes, diseñando sistemas a su medida que respondan a las necesidades específicas y únicas de cada uno de ellos y suministrando un servicio excepcional a nivel mundial.

mundial en el transporte neumático en fase densa

Fabricamos nuestros equipos.

A nuestros sistemas se les reconoce sin parangón por su fiabilidad y desempeño. Y van más allá del transporte neumático, al incluir una gama completa de componentes para un completo sistema de tratamiento del producto: deslizadores de flujo neumático, divergentes receptores, rompesacos, pesaje por lotes, divergentes multiposiciones, mezcladores y homogeneizadores, colectores de polvos, rompesacos automáticos, desterronadores, fluidificadores de fondo de silos, homogeneizadores de silos, tornillos sin fin, esclusas rotativas, sopladores para polvos, depósitos y tolvas, y muchos más pueden estar diseñados en un sistema de Dynamic Air.

Suministramos sistemas completos.

Un sistema de alto desempeño es más que la mera maquinaria. Dynamic Air es el líder mundial en el transporte neumático en fase densa, gracias a su personal y la pericia con que pueden afrontar el estudio y solución de los problemas que puedan haber en el tratamiento de su producto.

Primero y ante todo somos *oyentes*. Nunca nos desplazamos hasta la fábrica de un cliente con planes estandar preestablecidos bajo el brazo o con soluciones de compromiso sacadas de estantería; muy al contrario, unimos nuestra experiencia en el tratamiento de materiales a granel con los conocimientos únicos que Ud. tiene de su proceso, para así concebir un sistema ajustado a su aplicación.



Sistemas completos para almacenamiento, transporte, pesaje, procesamiento del producto por lotes y homogeneización, incluidas las estructuras metálicas.

Disponemos de un laboratorio de pruebas totalmente equipado.

Si su producto es nuevo y requiere ser probado o si nuestro conocimiento del mismo fuese limitado, lo someteríamos a pruebas en nuestro laboratorio, de un tamaño de nivel industrial.

En nuestro laboratorio determinamos: transportabilidad, relaciones de producto/aire, velocidad del producto, efectos higroscópicos, tendencia a aglomerarse, dimensionamiento de filtros, degradación del producto, disgregación, tiempos en el llenado y el transporte, presión de transporte adecuada, aire necesario, densidad del producto en situación aireada y cualquier otro dato que pueda ser útil. Bien poco puede quedar en la

duda



Laboratorio de pruebas de tamaño industrial.



Múltiples tuberías de transporte montadas sin dificultades en espacios reducidos.



Sistema de pesaje de lotes y transporte que incluye silos y estructura metálica.



Una instalación completa para el transporte de negro de humo.

Nuestras alcance incluye entre otros, el pesaje, procesamiento del producto por lotes, dosificación, mezcla y secado



Descargadores de big-bags y sacos de negro de humo en un sistema de transporte múltiple en fase densa según el Concepto de Línea Llena™



Sistema de transporte del negro de humo a alta densidad en vacío



Concepto de Línea Llena™ en un transporte neumático de maíz



Sistemas de mezcla y transporte



Carga de un camión con la lanza móvil Mobile Truck Lance™



Sistema de transporte neumático en fase densa



Depósitos de 600 litros provistos de colector de polvos Modu-Kleen™ 669



Sistemas de descarga de silo y transporte



Transporte neumático a silos por el
Concepto de Línea Llena™



Sistema de transporte HDV™ de alta
densidad en vacío Concepto Línea Llena™
en descarga de camiones



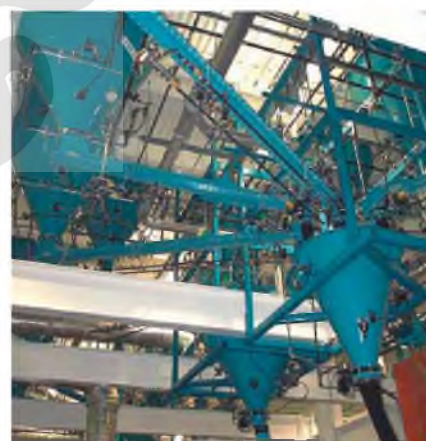
Sistema de transporte por lotes



Transportador en fase densa y descarga
fluidificada de silo Vibra-Jet™ para
detergentes



Sistemas de almacenamiento y dosificación.



Deslizadores neumáticos de alta precisión
Dyna-Slide™ transportan un producto
desde un depósito de 6 m³ hasta diversas
tolvas pesadoras.

Cuando de lo que se trata es del transporte neumático de productos sólidos a granel, nuestros 16 conceptos están a la vanguardia

Tras más de 35 años de experiencia fabricando sistemas de transporte neumático altamente eficaces en ambas fases (densa o diluída) puede Ud. estar seguro que la tecnología de Dynamic Air es lo más actual y lo mejor en la industria. Hemos desarrollado muchas primicias, como el Concepto Línea Llena™ en fase densa, el cual disminuye significativamente la degradación o la abrasión, disminuye el mantenimiento y da como resultado un tremendo ahorro energético con respecto a los sistemas convencionales de transporte neumático.

Dynamic Air dispone de 16 conceptos diferentes de transporte neumático:

- Doce de transporte neumático a presión.
- Cuatro de transporte neumático en vacío.

Cada sistema tiene sus características propias para la presión, la velocidad de transporte, eficacia y resultados. Dado que cada producto reacciona de forma diferente en condiciones similares, es esencialmente importante cotejar

las características del sistema con el producto a transportar, con el fin de conseguir los comportamientos más deseables de transporte y lograr el mayor rendimiento para Ud., nuestro cliente.

Nuestros 16 conceptos de transporte neumático son capaces de transportar a casi cualquier velocidad deseada para un producto dado, desde velocidades de 0,25 m/segundo con el sistema HDV 8000 de transporte neumático en fase densa, o superiores a 35 m/segundo con el sistema LDP 2000 de transporte neumático en



capacidades va desde poco más de 100 kilos hasta más de 400 toneladas de producto por hora y sobre distancias que sobrepasan los 1500 m.

Adicionalmente, nuestros sistemas se vuelven altamente eficaces al agregar nuestro Ahorrador de Aire DC-5™, de tecnología patentada, inigualable por su fiabilidad y resultados. Así, estos sistemas pueden transportar incluso los productos más difíciles, reduciendo significativamente el consumo energético, transportándolos a velocidades mucho más bajas, con más altas densidades en línea y reducidas cargas dinámicas.

Si el Ahorrador de Aire DC-5 se utiliza en sistemas con presiones inferiores a 1 barg, en muchas aplicaciones podremos reducir la velocidad de transporte bien por debajo de la velocidad de saltación del producto en la línea. Dependiendo



también podremos reducir la demanda de energía y mejorar drásticamente los comportamientos y fiabilidad del sistema.

El resultado:

Un manejo delicado de los productos muy abrasivos que no toleran degradación. Para numerosos productos frágiles, en forma de cristales o granulados, no hay un proceso más gentil de transporte. Los 16 conceptos de transporte neumático de Dynamic Air pueden ofrecer también un trato más suave a los componentes del sistema. Con velocidades más bajas, el desgaste del sistema y las averías que ocasionan quedan minimizados.

neumático de Dynamic Air son:

- Eficaces para el ahorro de energía y mano de obra
- Más fiables, gracias a la tecnología de los ahorradores de aire DC-5
- Flexibles en el diseño, adaptables a instalaciones con espacios reducidos
- Fáciles de instalar, con interrupciones mínimas en plantas en marcha
- Limpios, ya que el producto está dentro del sistema de transporte totalmente aislado del entorno
- Amigables con el medioambiente
- De pocos elementos móviles
- Menores costos de inversión
- Menor mantenimiento

De entre los productos típicos transportados podemos citar:

Alimentos para bebés, alúmina, arena de fundición, arena de sílice, arcilla en gránulos, azúcar, azufre, barita, bauxita, bentonita, borax, café tostado en grano, café verde, caliza, caolín, carbonato cálcico, carbonato sódico, cemento, cenizas, cereales, cianita, cloruro cálcico, copos de acero, cuarzo, cuentas de vidrio, detergente, dióxido de titanio, feldespato, fertilizantes, fluorita, frutos secos, harina, leche en polvo, litargirio, magnesio, negro de humo, óxido de aluminio, óxido férrico, resina de PVC, sal, sulfato sódico, talco, vidrio molido, vidrio en gránulos, yeso y muchos otros.



El Ahorrador de Aire DC-5™, de diseño exclusivo de Dynamic Air, es la llave de control del transporte de su producto a lo largo de toda la línea.

Uno de los secretos de éxito y alta eficacia de un sistema de transporte neumático, ya sea de alta presión en fase densa o de baja presión en fase diluída, se basa en conseguir un óptimo equilibrio de la presión. Muchos sistemas funcionan en unas condiciones de presión que hay que calificar de inestables o desequilibradas, pues pueden estar empleando demasiado aire comprimido o escasamente, ambos no válidos.

Cuando un sistema utiliza demasiado aire comprimido, la velocidad podría ser demasiado alta con el posible deterioro del producto o el desgaste excesivo del sistema. Además, emplearía un exceso de energía y el mantenimiento sería mayor, mientras que la fiabilidad se vería reducida. Cuando es escaso el aire comprimido, la velocidad de transporte podría volverse demasiado lenta, con posible atascamiento del producto en la línea.

Es también importante entender que cada sistema tiene que batallar constantemente con las fricciones, las cuales no están repartidas uniformemente en toda la línea de transporte. Los codos, por ejemplo, tienen una fricción mucho mayor en el transporte neumático, pudiendo fácilmente representar más del 50% de la resistencia total. Las partes rectas presentan, en efecto, un nivel de fricción muy inferior al de los codos.



Otras fuentes de fricción que también deban ser consideradas son las uniones de los tubos, las válvulas divergentes, los cambios de nivel, etc. El tamaño de las partículas, su densidad y la cohesión del producto transportado constituyen otras a añadir al coeficiente de fricción, entre los impedimentos para un proceso adecuado.

En consecuencia, la resistencia que se constata por fricción variará considerablemente de un sistema a otro y a todo lo largo de un sistema dado, dependiendo de los componentes utilizados, la longitud de la línea de transporte y la velocidad. Estas fuerzas de fricción variables y desequilibradas, si no están compensadas convenientemente, pueden causar unas condiciones de presión y velocidad inestables e indeseables, resultando un sistema de transporte ineficaz con resultado global deficiente.

A fin de crear el balance óptimo de presión en un sistema de transporte neumático, y para contrarrestar las variantes fuerzas de fricción, el aire comprimido deberá estar distribuido convenientemente y a tiempo para asegurar la fluidez uniforme del producto en la línea de transporte.

El balance de presión debe ser también preciso e instantáneo. Si reaccionara demasiado lento o sobrecompensada, el flujo del producto a través de la línea se vería alterado y el rendimiento del sistema comprometido.

Para contrarrestar efectivamente todos los factores de fricción normalmente inherentes en un sistema de transporte neumático, Dynamic Air ha desarrollado la tecnología del Ahorrador de Aire DC-5, que controla y compensa con exactitud la presión del sistema de transporte neumático.

La tecnología del Ahorrador de Aire DC-5 consigue la compensación apropiada de presión, porque detecta automáticamente las condiciones del sistema de transporte y reacciona instantánea y con precisión, sin sobrecompensaciones. Así, el producto es transportado a lo largo de la línea de manera suavemente controlada, a la velocidad de transporte deseada, optimizándose el proceso de transporte para mayor fiabilidad y rendimiento.

La tecnología del Ahorrador de Aire DC-5 es adaptable a casi todos los sistemas de transporte neumático de Dynamic Air, ya sean estos a presión o en vacío. Es uno de los productos más exclusivos de entre todos los desarrollados

por Dynamic Air y representa una primicia en su campo, que hace de Dynamic Air un innovador en el terreno de los sistemas de transporte neumático de alto rendimiento.



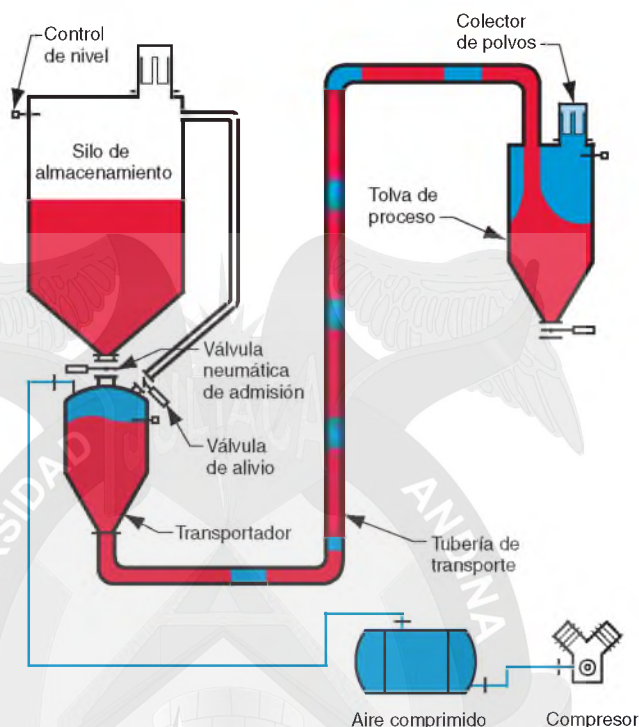
Ventajas de la tecnología del Ahorrador de Aire DC-5

- Bajo consumo de energía
- Mejora de la fiabilidad del sistema
- Adecuación para el transporte de productos muy frágiles
- Aptitud para transportar productos muy abrasivos
- Facultad para transportar productos difíciles o cohesivos
- Capacidad para transportar productos pesados
- Facilidad para arrancar y parar el proceso de transporte con la tubería llena
- Reducidas "cargas dinámicas" en los codos por el control de la velocidad de transporte
- Menor tratamiento de polvos
- Infima degradación del producto

HDP 1000 Concepto Fuerza Bruta™ Sistema a presión en fase densa

El HDP 1000 Concepto Fuerza Bruta es un sistema por lotes, de alta presión, en fase densa y de baja a media velocidad. Es utilizado generalmente para transportar productos de densidad media a alta, sensibles al calor, semiabrasivos o abrasivos, para distancias cortas. Los ejemplos incluyen: arena de sílice, plástico peletizado, sal, cuarzo, cereales en grano, maíz, avena y cebada.

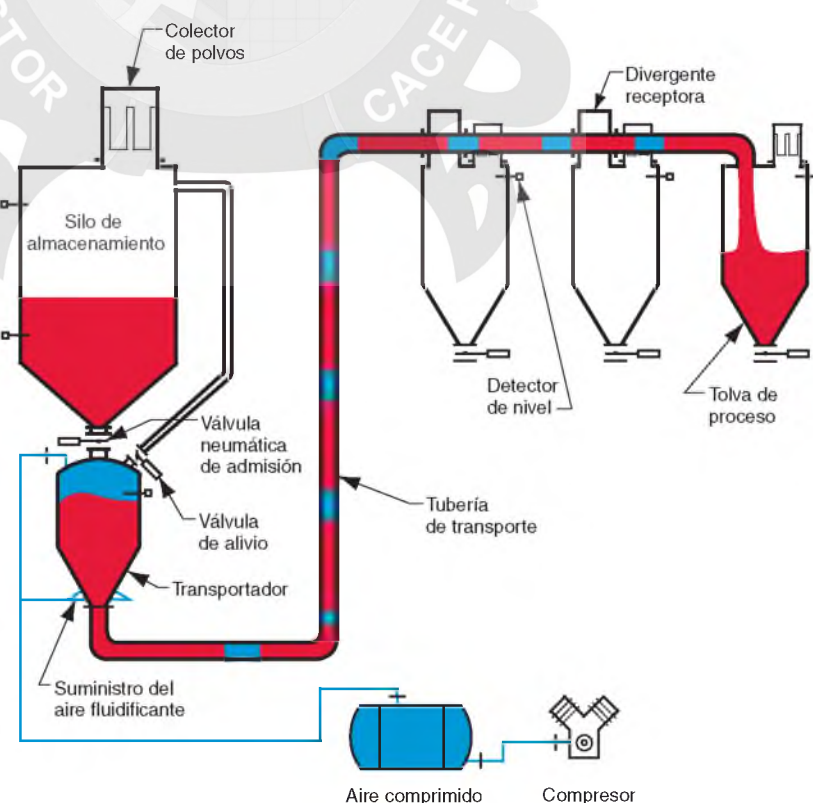
Las velocidades usuales son del orden de unos 5 m/s y la presión de transporte llega a 4 barg. Una cámara de presión (transportador) introduce el producto en la línea y un compresor de alta presión suministra el aire a 7 barg.



HDP 2000 Concepto Fluidificante™ Sistema a presión en fase densa

El HDP 2000 Concepto Fluidificante es un sistema por lotes, de presión media a alta, en fase densa y de baja a media velocidad. Es utilizado generalmente para transportar productos de densidad media a alta, sensibles al calor, semiabrasivos o abrasivos, de granulometría inferior a 400 micras. Los ejemplos incluyen: bentonita, cemento, fécula, polvo de sílice, arcilla en gránulos, caolín y alúmina.

Las velocidades de transporte típicas están comprendidas entre 5 m/s y 25 m/s y la presión de transporte llega hasta 4 barg. Una cámara de presión (transportador) del tipo fluidificante, introduce el producto en la línea y un compresor de alta presión suministra el aire a 7 barg.

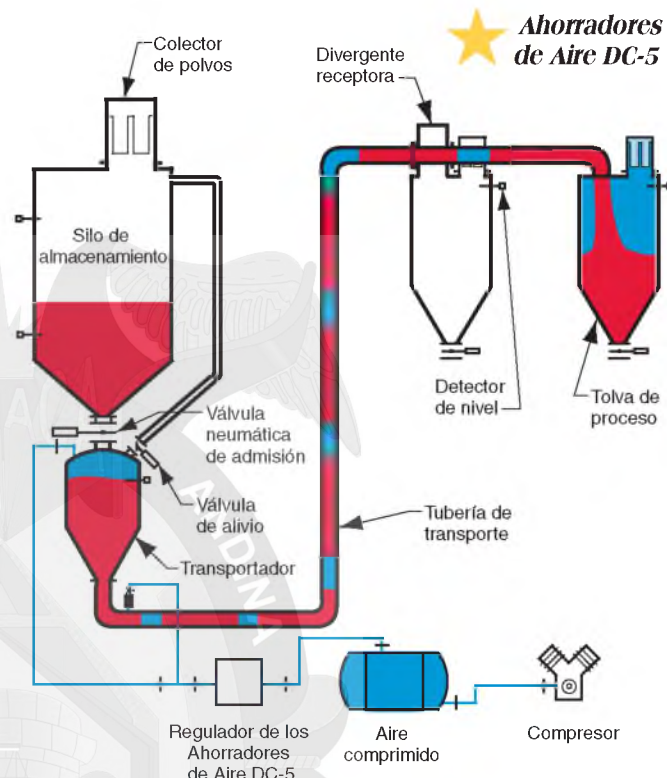


HDP 3000 Concepto Convencional™ Sistema a presión en fase densa

El HDP 3000 Concepto Convencional es un sistema por lotes, de presión media a alta, en fase densa y de baja a media velocidad. Es utilizado generalmente para transportar productos de densidad media a alta, sensibles al calor, semiabrasivos a muy abrasivos, cohesivos y/o muy frágiles, de cualquier granulometría. Los ejemplos incluyen: arena de sílice, mezcla para fabricar el vidrio, azúcar cristalizado, azúcar en polvo, plástico peletizado, bentonita, cemento, fécula, polvo de sílice, arcilla en gránulos, caolín, óxido de zinc y aluminio.

Las velocidades de transporte típicas están comprendidas entre 0,5 m/s y 5 m/s y la presión de transporte puede llegar a 7 barg.

Este concepto utiliza un transportador del tipo no fluidificante, que introduce el producto en la línea a la máxima densidad posible más la asistencia de los Ahorradores de Aire DC-5, con el fin de minimizar y optimizar el consumo de aire que suministra un compresor de 7 barg.

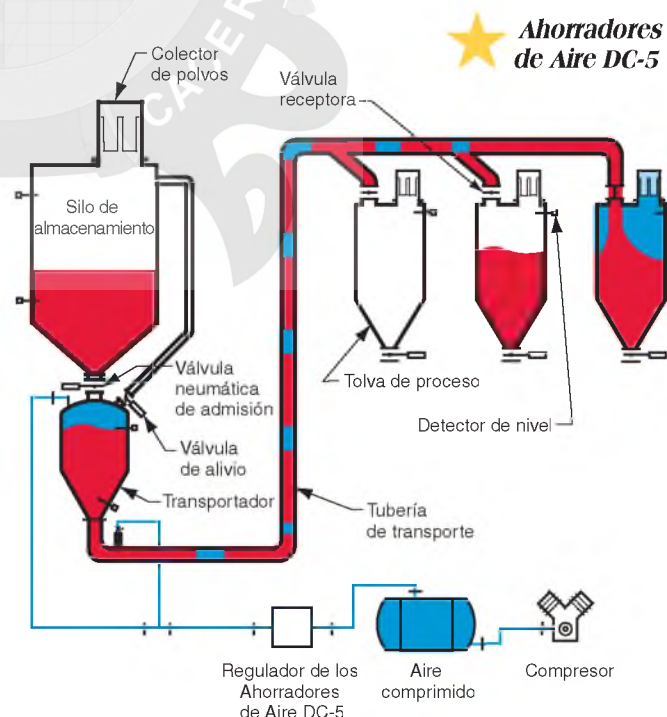


HDP 4000 Concepto de Línea Llena™ Sistema a presión en fase densa

El HDP 4000 Concepto de Línea Llena es un sistema por lotes, de presión media a alta, en fase densa y de baja a media velocidad. Es utilizado generalmente para transportar productos de densidad media a alta, sensibles al calor, semiabrasivos a muy abrasivos, cohesivos o muy frágiles, de cualquier granulometría y sobre largas distancias. Los ejemplos incluyen: arena de sílice, mezcla para fabricar el vidrio, azúcar cristalizado, azúcar en polvo, cereales de desayuno, café en grano, plástico peletizado, bentonita, cemento, almidón, polvo de sílice, arcilla en gránulos, caolín, óxido de zinc y alumina.

Las velocidades de transporte típicas están comprendidas entre 0,5 m/s y 5 m/s y la presión de transporte puede llegar a 7 barg.

Este concepto utiliza el transportador del tipo no fluidificante, que introduce el producto en la línea de transporte a la máxima densidad posible más la asistencia de los Ahorradores de Aire DC-5, con el fin de minimizar y optimizar el consumo de aire que suministra un compresor de 7 barg. Este concepto no necesita divergentes receptoras y en su lugar utiliza válvulas receptoras que facilitan el mantenimiento al estar situadas sobre las tolvas de proceso.

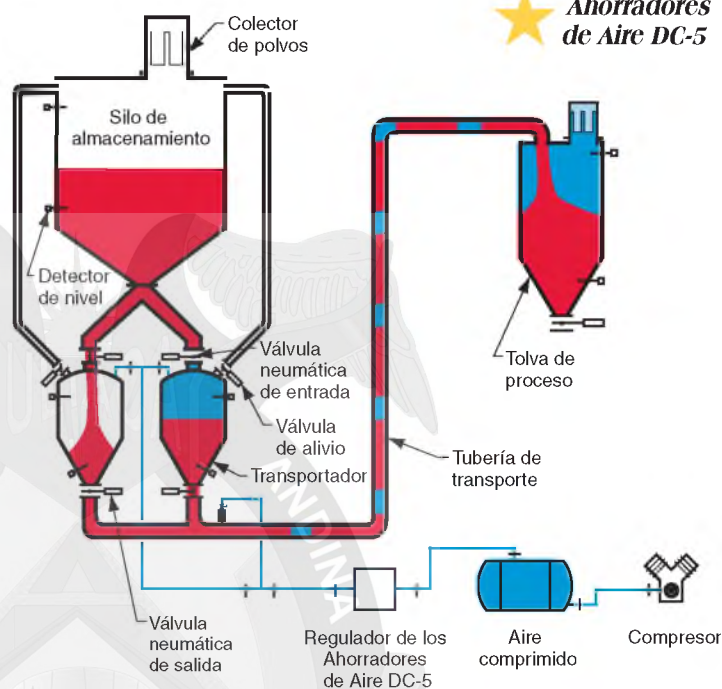


HDP 5000 Concepto Continuo de Línea Llena™ Sistema continuo a presión en fase densa

El HDP 5000 Concepto Continuo de Línea Llena es un sistema continuo, de presión media a alta, en fase densa y de muy baja a media velocidad. Es utilizado generalmente para transportar productos de densidad media a alta, sensibles al calor, semiabrasivos a muy abrasivos, cohesivos o muy frágiles, de cualquier granulometría y sobre largas distancias. Los ejemplos incluyen: detergente terminado, arena de sílice, mezcla para fabricar el vidrio, azúcar cristalizado, azúcar en polvo, cereales para desayuno, café en grano, plástico peletizado, bentonita, cemento, almidón, sílice en polvo, arcilla en gránulos, caolín, óxido de zinc, negro de humo peletizado y alúmina.

Las velocidades de transporte típicas están comprendidas entre 0,5 m/s y 5 m/s y la presión de transporte puede llegar a 7 barg.

Este concepto utiliza dos transportadores del tipo no fluidificante y trabajan alternativamente para introducir el producto en la línea a la máxima densidad posible, más la asistencia de los Ahorradores de Aire DC-5, con el fin de minimizar y optimizar el consumo de aire que suministra un compresor de 7 barg.



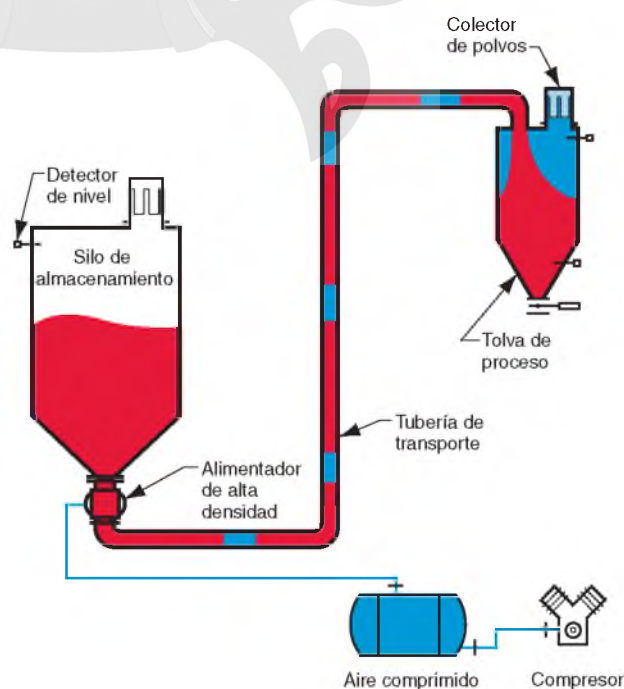
Ahorradores de Aire DC-5

MDP 2000 Concepto Presión™ Sistema continuo a presión en fase densa

El MDP 2000 Concepto Presión es un sistema de transporte continuo, de presión baja, en fase densa y velocidad media. Es utilizado para transportar productos de baja densidad, sensibles al calor y no abrasivos, sobre cortas distancias, donde haya aire a alta presión de fácil disponibilidad. Los ejemplos incluyen: plástico peletizado, detergente en polvo, trigo, avena, maíz, cebada, caliza, café en grano, azúcar cristalizado, arcilla en gránulos y ácido bórico.

Las velocidades de transporte típicas están comprendidas entre 10 m/s y 15 m/s y la presión de transporte puede llegar a 1 barg.

Este concepto utiliza un alimentador de alta densidad para regular el caudal de producto introducido en la tubería de transporte. El aire es suministrado por un compresor de 7 barg.

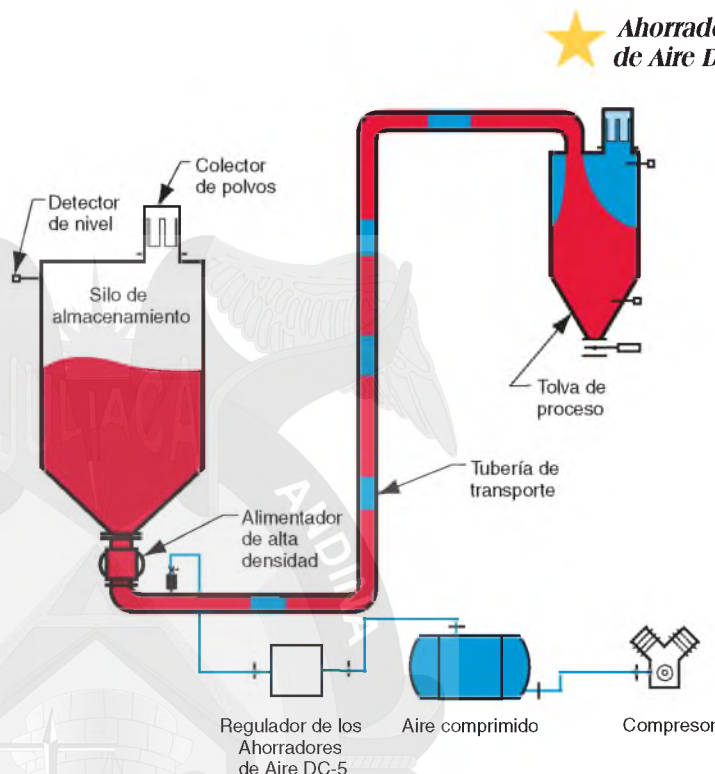


MDP 4000 Concepto Presión™ Sistema continuo a presión en fase densa

El MDP 4000 Concepto Presión es un sistema de transporte continuo de presión baja, en fase densa y velocidad baja a media. Es utilizado para transportar productos de baja a media densidad, sensibles al calor, no abrasivos o friables, sobre cortas distancias, donde haya aire a alta presión de fácil disponibilidad. Los ejemplos incluyen: plástico peletizado, detergente en polvo, caliza, café en grano, azúcar cristalizado, arcilla en gránulos, ácido bórico, cereales de desayuno y carbón peletizado.

Las velocidades de transporte típicas están comprendidas entre 5 m/s y 10 m/s y la presión de transporte puede llegar a 1 barg.

Este concepto utiliza un alimentador de alta densidad para regular el caudal del producto introducido en la línea de transporte más la asistencia de los Ahorradores de Aire DC-5, con el fin de minimizar y optimizar el consumo de aire de alta presión que suministra un compresor de 7 barg.



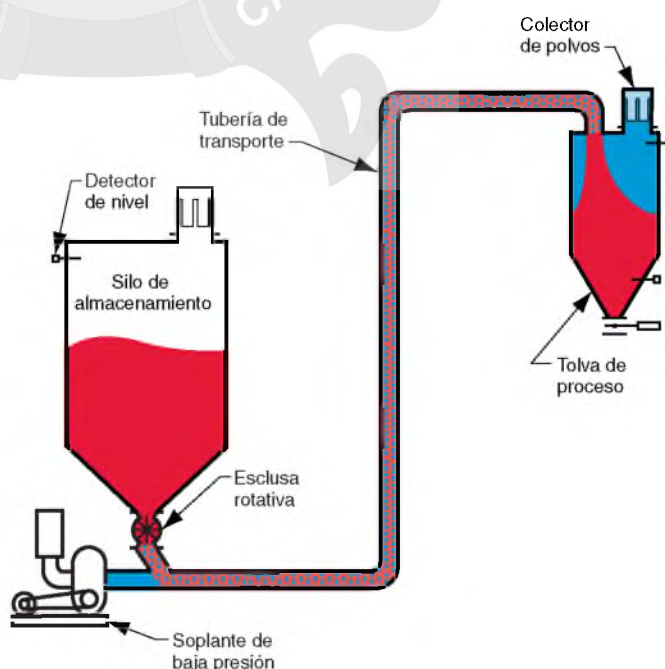
★ Ahorradores de Aire DC-5

LDP 2000 Concepto Presión™ Sistema continuo a presión en fase diluída

El LDP 2000 Concepto Presión es un sistema de transporte continuo de presión baja, en fase diluída y velocidad elevada. Es utilizado para transportar productos de baja a media densidad y no abrasivos, a los que no perjudique su degradación. Los ejemplos incluyen: harina, azúcar, sal, cereales, malta y plástico peletizado.

Las velocidades de transporte típicas sobrepasan los 20 m/s y la presión de transporte puede llegar a 1 barg.

Este concepto utiliza una esclusa rotativa para regular el caudal de producto introducido en la línea de transporte. Para el suministro de aire utiliza una soplante de baja presión.

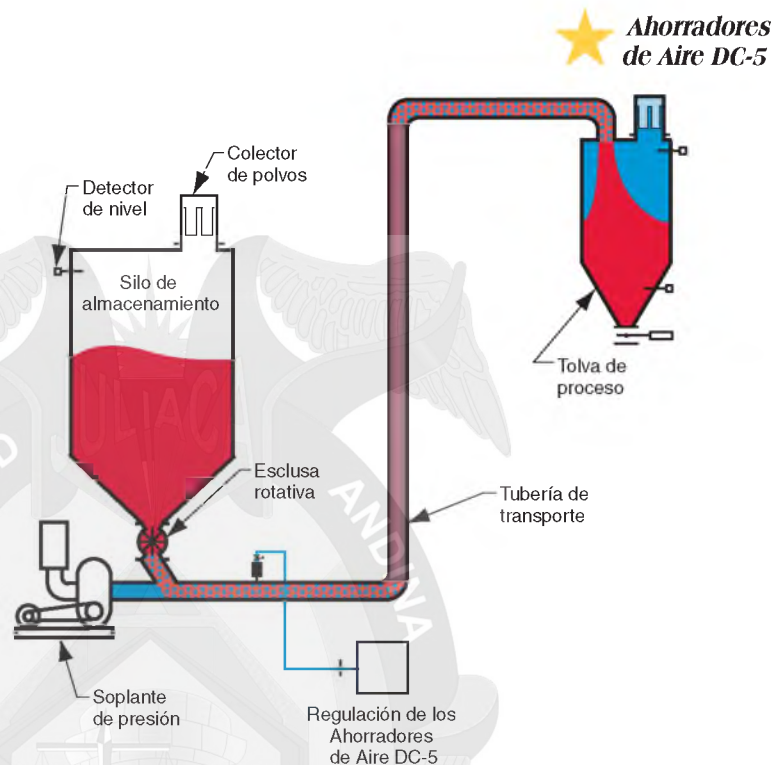


LDP 4000 Concepto Presión™ Sistem continuo a presión en fase diluída

El LDP 4000 Concepto Presión es un sistema de transporte continuo de presión baja, en fase diluída y velocidad media. Es utilizado para transportar productos de baja a alta densidad, no abrasivos y que preocupe algo su degradación. Los ejemplos incluyen: óxido de hierro, café en grano, legumbres secas, harina, productos químicos en polvo, cereal, malta, plásticos peletizados, azúcar y sal.

Las velocidades de transporte típicas son de unos 10 m/s y la presión de transporte puede llegar a 1 barg.

Este concepto utiliza una esclusa rotativa para regular el caudal de producto introducido en la línea de transporte. Se utiliza la tecnología de los Ahorradores de Aire DC-5 con el fin de minimizar y optimizar el suministro de aire de una soplante de baja presión.

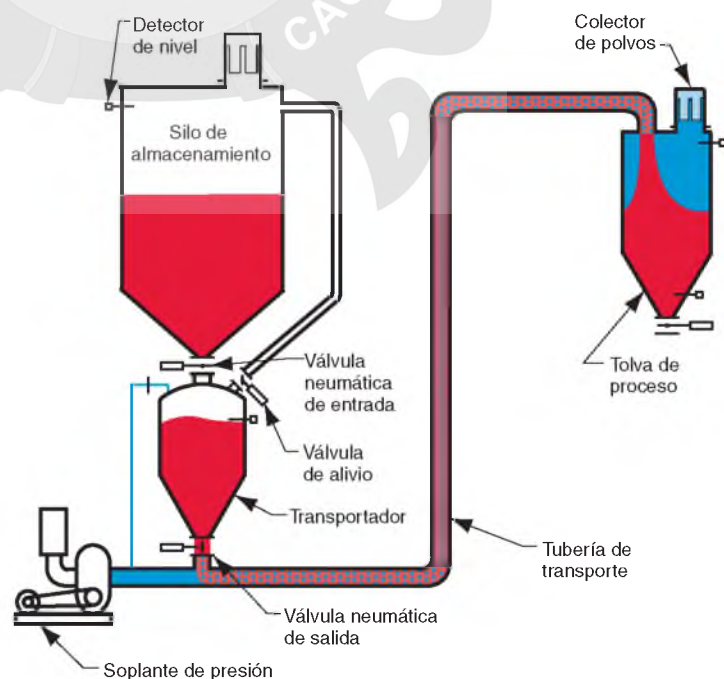


LDP 6000 Concepto Presión™ Sistema por lotes a presión en fase diluída

El LDP 6000 Concepto Presión es un sistema de transporte por lotes, de presión baja, en fase diluída y velocidad media. Es utilizado para transportar productos de baja a alta densidad, fluidificable, de abrasión moderada, no sensibles al calor. Los ejemplos incluyen: carbón marino, sílice en polvo, bentonita, carbonato sódico, cemento, ceniza, alúmina, cal hidratada.

Las velocidades de transporte típicas son de unos 12,5 m/s y la presión de transporte puede llegar a 1 barg.

Este concepto utiliza el transportador para introducir el producto en la línea de transporte, mientras que el aire es suministrado por una soplante de baja presión.

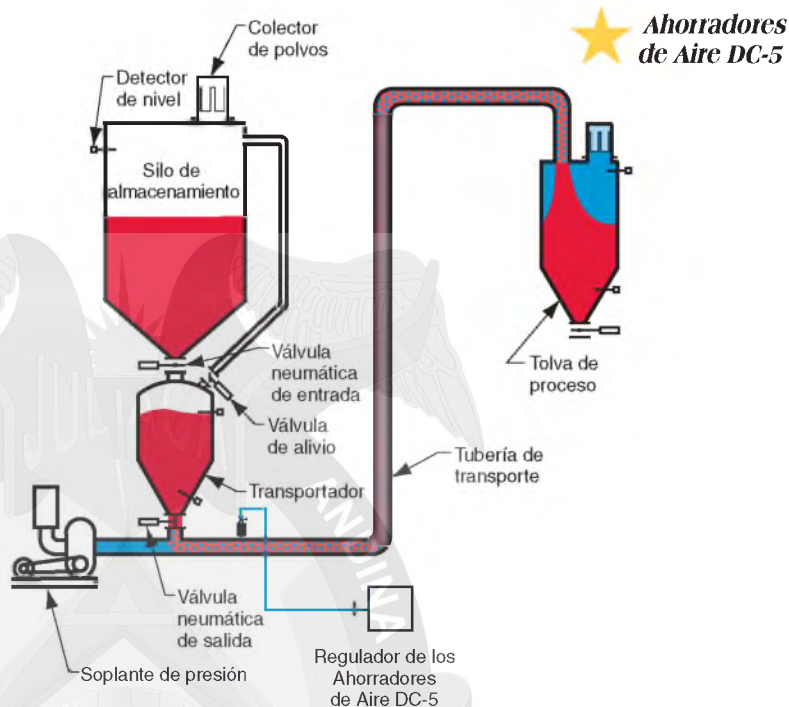


LDP 8000 Concepto Presión™ Sistema por lotes a presión en fase intermedia

El LDP 8000 Concepto Presión es un sistema de transporte por lotes, de presión baja, en fase intermedia y de velocidad baja a media. Es utilizado para transportar productos de media a alta densidad, semiabrasivos, de buena fluidez, que puedan presentar alguna dificultad de transporte. Los ejemplos incluyen: café en grano, chocolate en polvo, caliza molida, carbonato cálcico, alúmina, óxido de hierro, cemento y sílice en polvo.

Las velocidades de transporte típicas son de unos 7,5 m/s y la presión de transporte puede llegar a 1 barg.

Este concepto utiliza el transportador para introducir el producto en la línea de transporte. Se utiliza la tecnología de los Ahorradores de Aire DC-5, con el fin de minimizar y optimizar el suministro de aire de una soplante de baja presión.

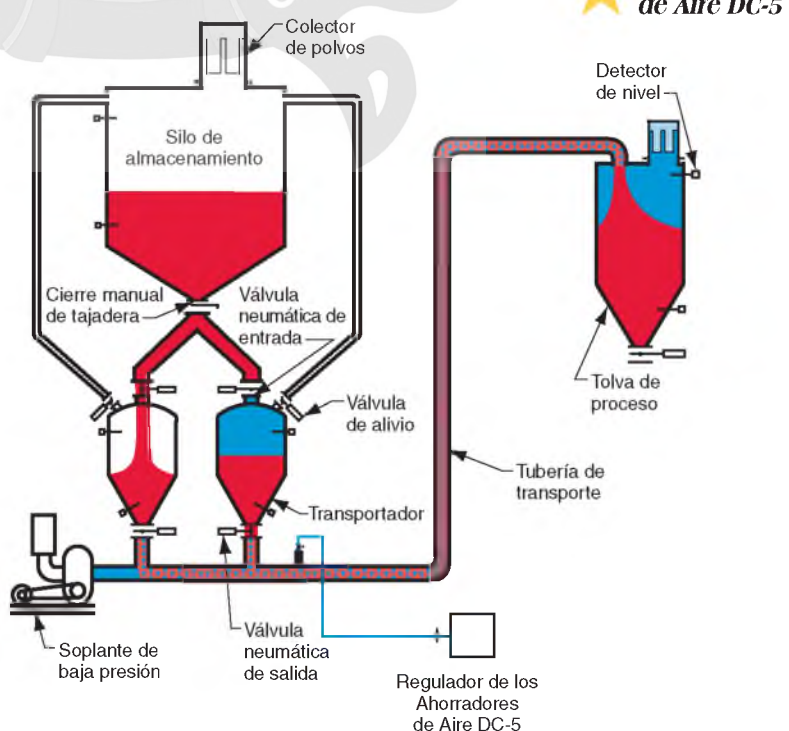


LDP 10.000 Concepto Presión Línea Llena™ Sistema continuo a presión en fase intermedia

El LDP 10.000 Concepto Presión Línea Llena es un sistema de transporte continuo, de baja presión, en fase intermedia, de baja a media velocidad y para largas distancias. Es utilizado para transportar productos de media a alta densidad, semiabrasivos, de buena fluidez, que puedan presentar alguna dificultad de transporte. Los ejemplos incluyen: café en grano, chocolate en polvo, caliza molida, carbonato cálcico, alúmina, óxido de hierro, cemento y sílice en polvo.

Las velocidades de transporte típicas son de unos 7,5 m/s y la presión de transporte puede llegar a 1 barg.

Este concepto utiliza dos transportadores para introducir el producto en la línea de forma continua. Se utiliza la tecnología de los Ahorradores de Aire DC-5, con el fin de minimizar y optimizar el suministro de aire de un soplane de baja presión.

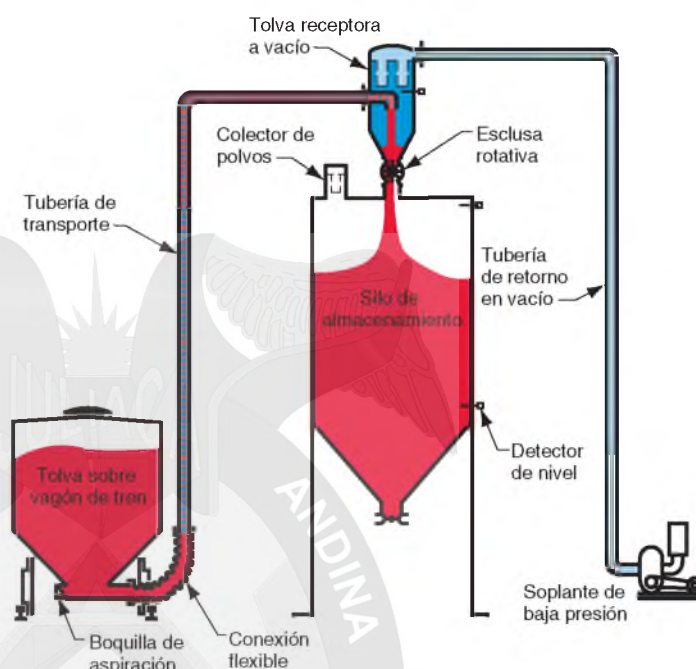


LDV 2000 Concepto Vacío™ Sistema continuo por vacío en fase diluída

El LDV 2000 Concepto Vacío es un sistema de transporte continuo, por aspiración de baja presión, en fase diluída, de alta velocidad, y para cortas distancias. Es utilizado para transportar productos de baja a media densidad y no abrasivos. Los ejemplos incluyen: harina, caolín, plásticos peletizados, cereales, malta, maíz, fécula y resina de plástico.

Las velocidades de transporte típicas están por encima de 20 m/s y la presión de vacío en el transporte puede llegar a 380 mm Hg.

El producto es introducido en continuo en la línea de transporte por la aspiración de aire creada por una soplante de baja presión. El sistema incluye: boquilla de aspiración, tubería de transporte, tolva receptora a vacío, esclusa rotativa y un soplante de baja presión.



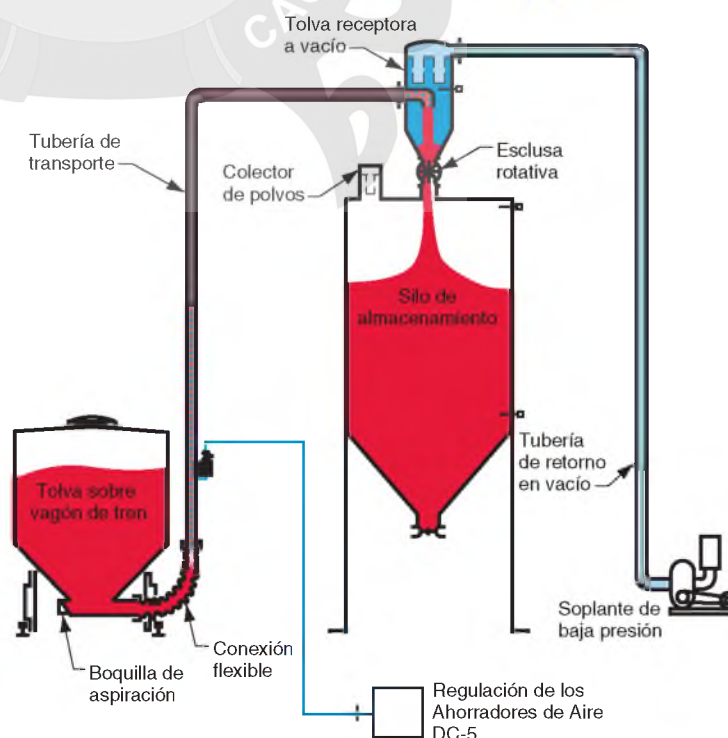
LDV 4000 Concepto Vacío™ Sistema continuo por vacío en fase diluída

El LDV 4000 Concepto Vacío es un sistema de transporte continuo, por aspiración de baja presión, en fase diluída, de media a alta velocidad y para cortas distancias. Es utilizado para transportar productos desde baja a alta densidad, no abrasivos y semiabrasivos. Los ejemplos incluyen: óxido de hierro, dióxido de titanio, sílice en polvo, cemento, y caliza.

Las velocidades de transporte típicas están entre 5 m/s y 15 m/s y el vacío de transporte puede llegar a 380 mm Hg.

El producto es introducido en continuo en la línea de transporte por vacío. Con la tecnología de los Ahorradores de Aire DC-5 se minimiza y optimiza el consumo de aire de la soplante. El sistema incluye: boquilla de aspiración, tolva receptora a vacío, esclusa rotativa y un soplante de baja presión.

★ **Ahorradores de Aire DC-5**

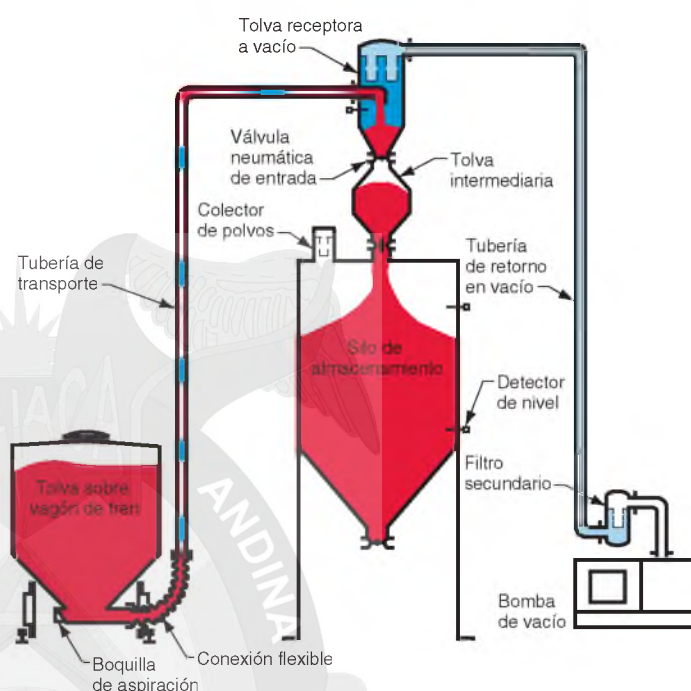


HDV 6000 Concepto Vacío™ Sistema continuo por vacío en fase densa

El HDV 6000 Concepto Vacío es un sistema de transporte continuo por aspiración de alta presión, en fase densa y media velocidad. Es utilizado para transportar productos desde baja a alta densidad, en gránulos o peletizados y semiabrasivos. Los ejemplos incluyen: plástico peletizado, azúcar granulado, sal, café en grano, legumbres secas y cacahuates.

Las velocidades de transporte están entre 1,5 m/s y 5 m/s y el vacío en el transporte puede llegar a 737 mm Hg.

El producto es introducido en continuo en la línea de transporte por la aspiración de una bomba de alta presión. El sistema incluye: boquilla de aspiración, línea de transporte en vacío, tolva receptora a vacío, esclusa rotativa, filtro secundario y bomba de vacío. Para aplicaciones de transporte en continuo se intercala entre la tolva receptora y el silo una tolva intermedia, con válvulas neumáticas de entrada y salida.



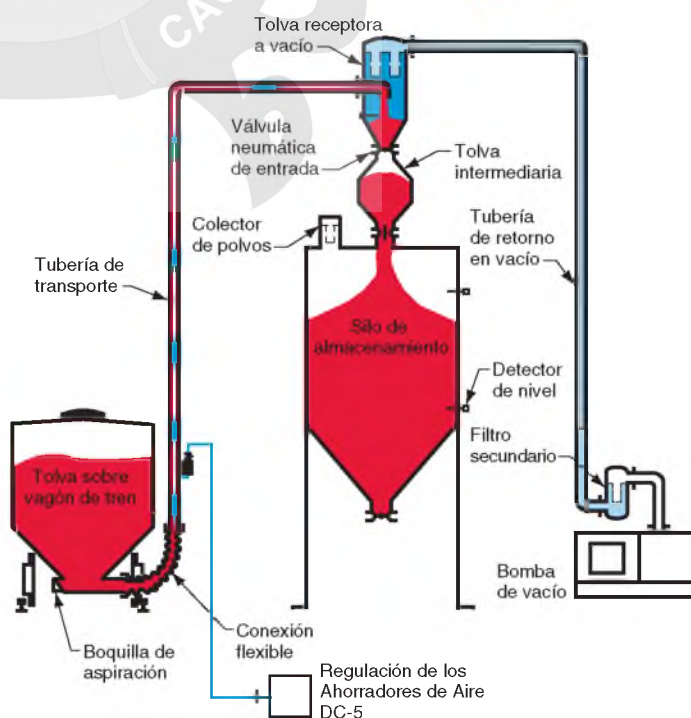
HDV 8000 Concepto Vacío™ Sistema continuo por vacío en fase densa

El HDV 8000 Concepto Vacío es un sistema de transporte continuo por aspiración de alta presión, en fase densa y media velocidad. Es utilizado para transportar productos de baja a alta densidad, friables o abrasivos y otros productos a los que afecte la degradación o abrasión. Los ejemplos incluyen: plástico peletizado, cereales de desayuno, azúcar granulado, sal, café en grano, legumbres secas, detergente terminado, negro de humo peletizado y arena de sílice.

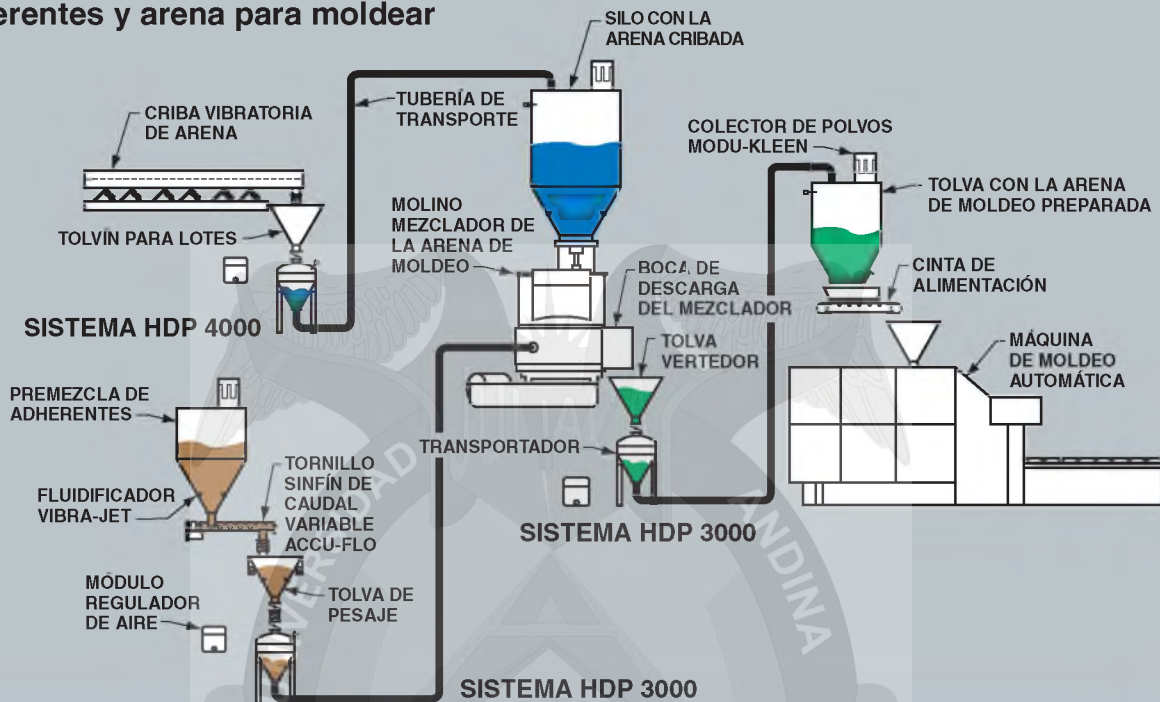
Las velocidades de transporte típicas están entre 0,25 m/s y 4 m/s y la presión de vacío en el transporte puede llegar a 737 mm Hg.

El producto es introducido en continuo en la línea de transporte por aspiración. Con la tecnología de los Ahorradores de Aire DC-5 se minimiza y optimiza el consumo de aire de la bomba de vacío. El sistema incluye: boquilla de aspiración, línea de transporte en vacío, Ahorradores de Aire DC-5, tolva receptora a vacío, filtro secundario y bomba de vacío. Para aplicaciones de transporte en continuo se intercala entre la tolva receptora y el silo una tolva intermedia, con válvulas neumáticas de entrada y salida.

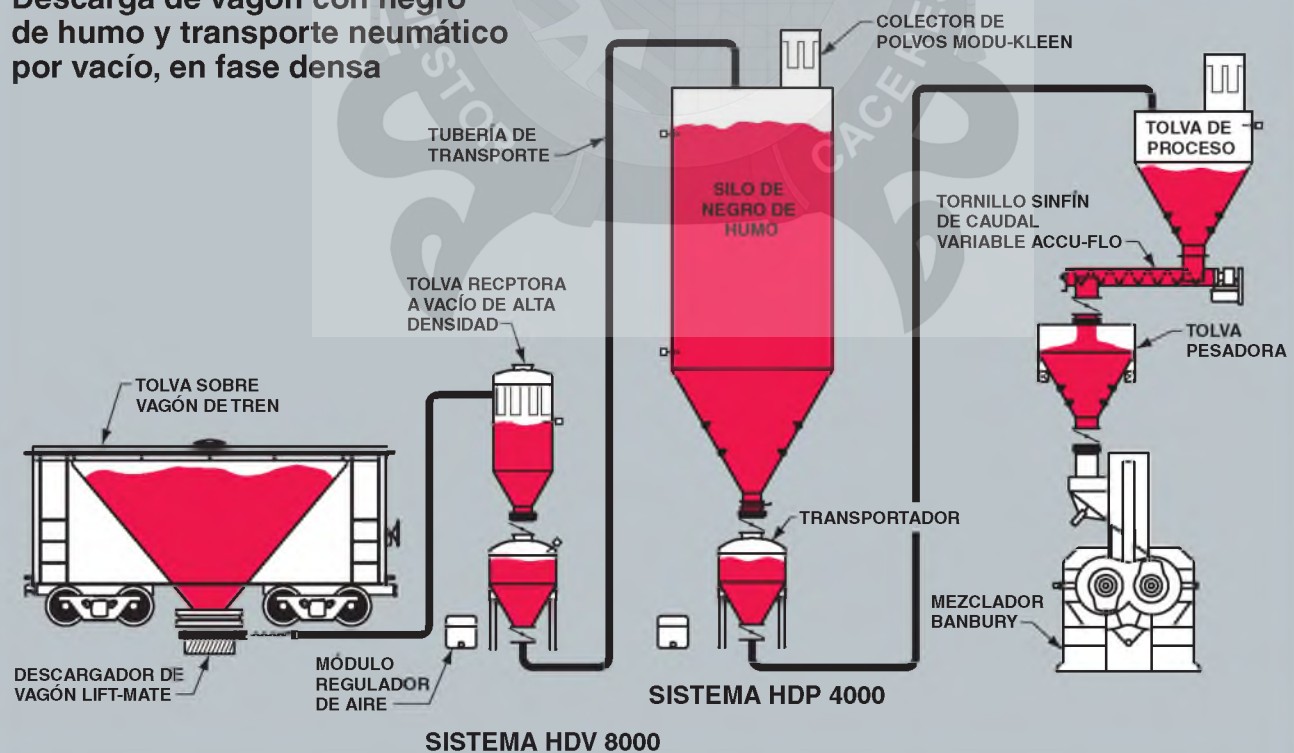
★ **Ahorradores de Aire DC-5**



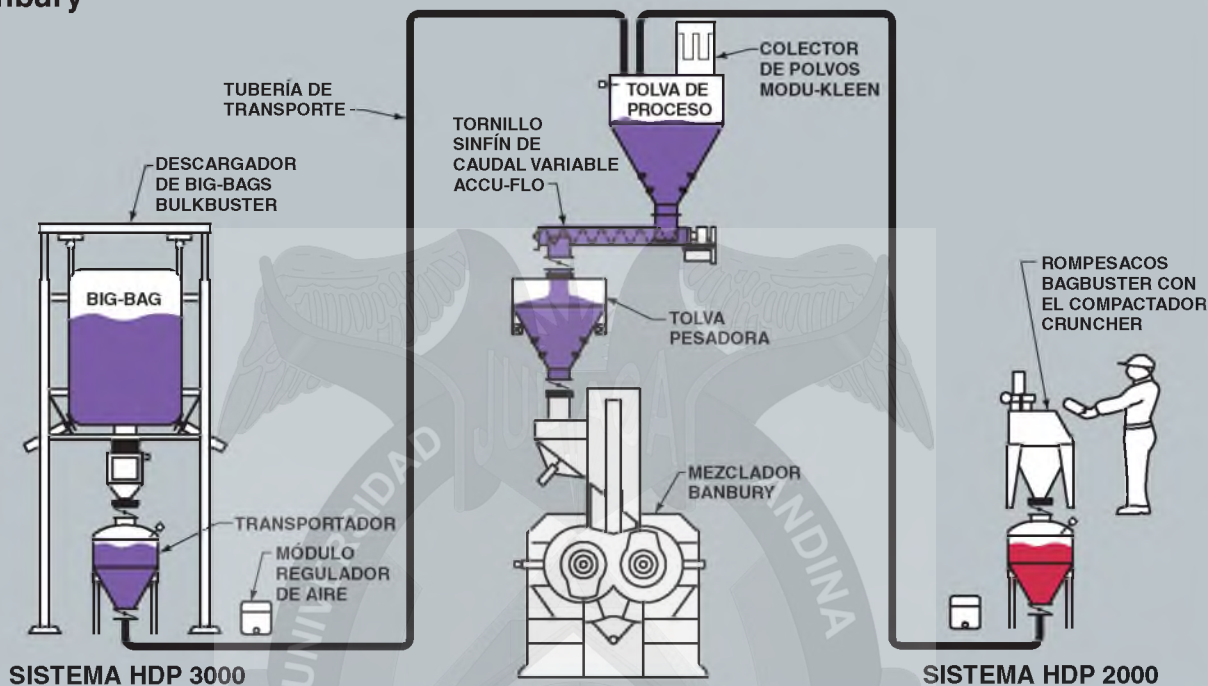
Sistema para preparación de la arena de fundición con cribado, premezcla de adherentes y arena para moldear



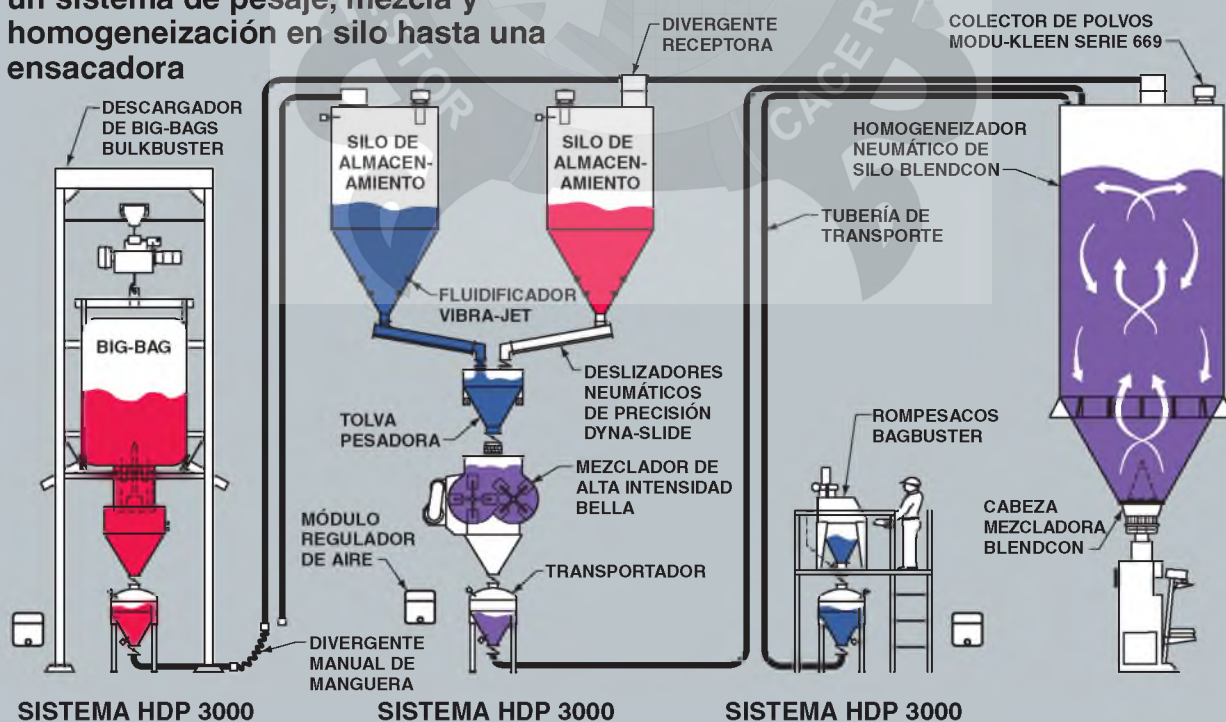
Descarga de vagón con negro de humo y transporte neumático por vacío, en fase densa



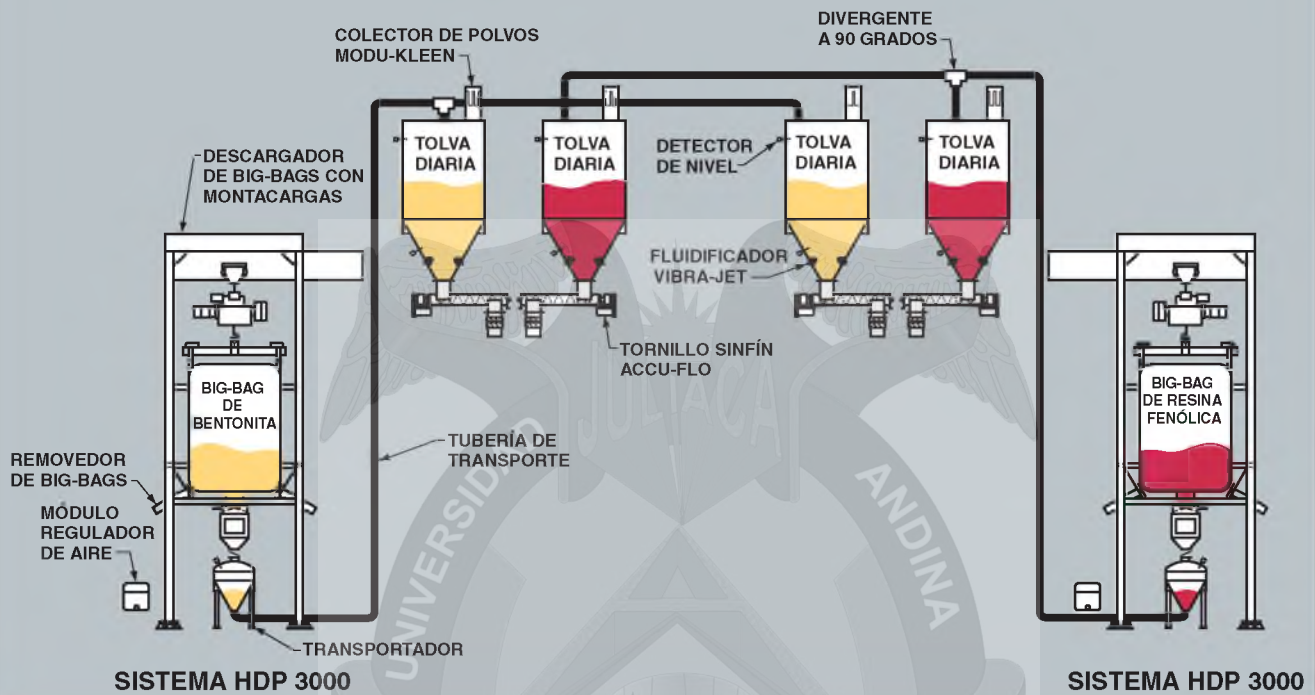
Descarga de big-bags y sacos de negro de humo y sistema de pesaje hasta un mezclador Banbury



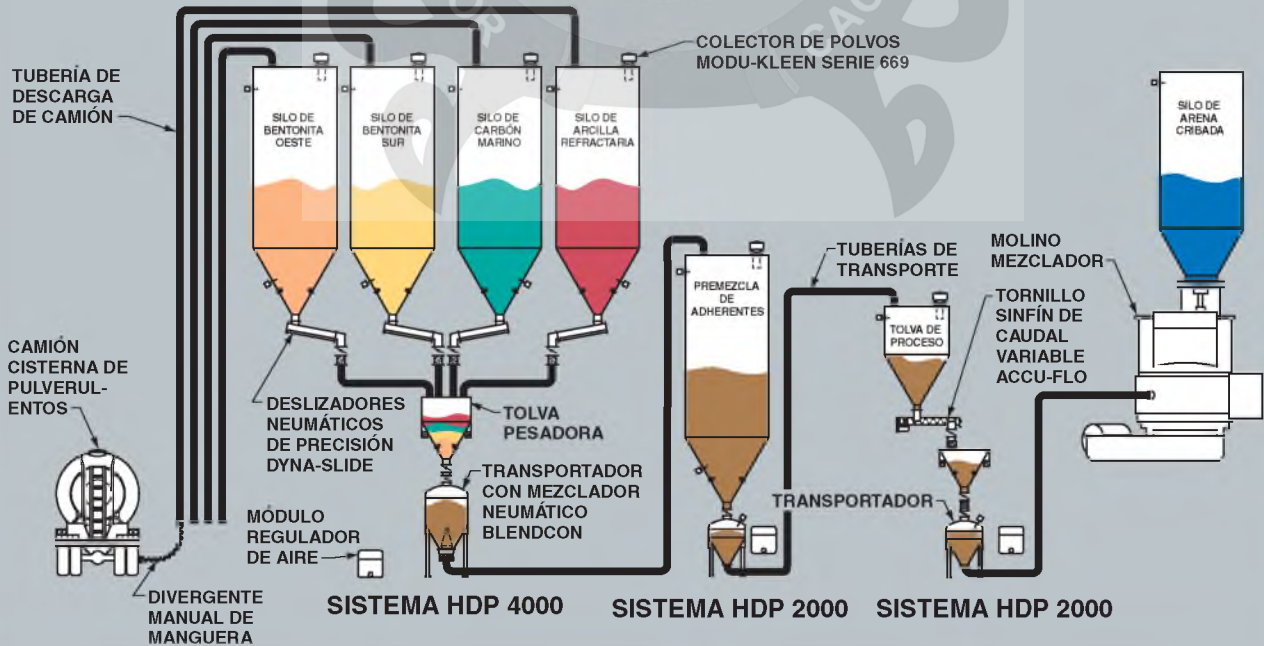
Sistema de descarga de sacos y big-bags a un sistema de pesaje, mezcla y homogeneización en silo hasta una ensacadora



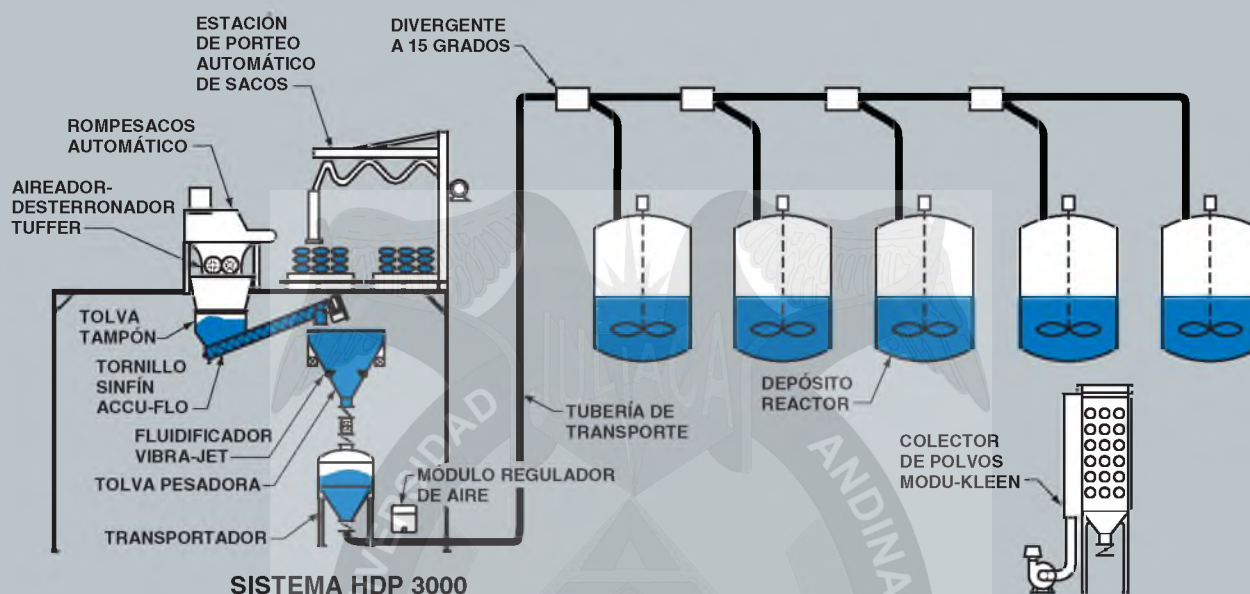
Sistema de descarga de big-bags y suministro aplicable en una fundición



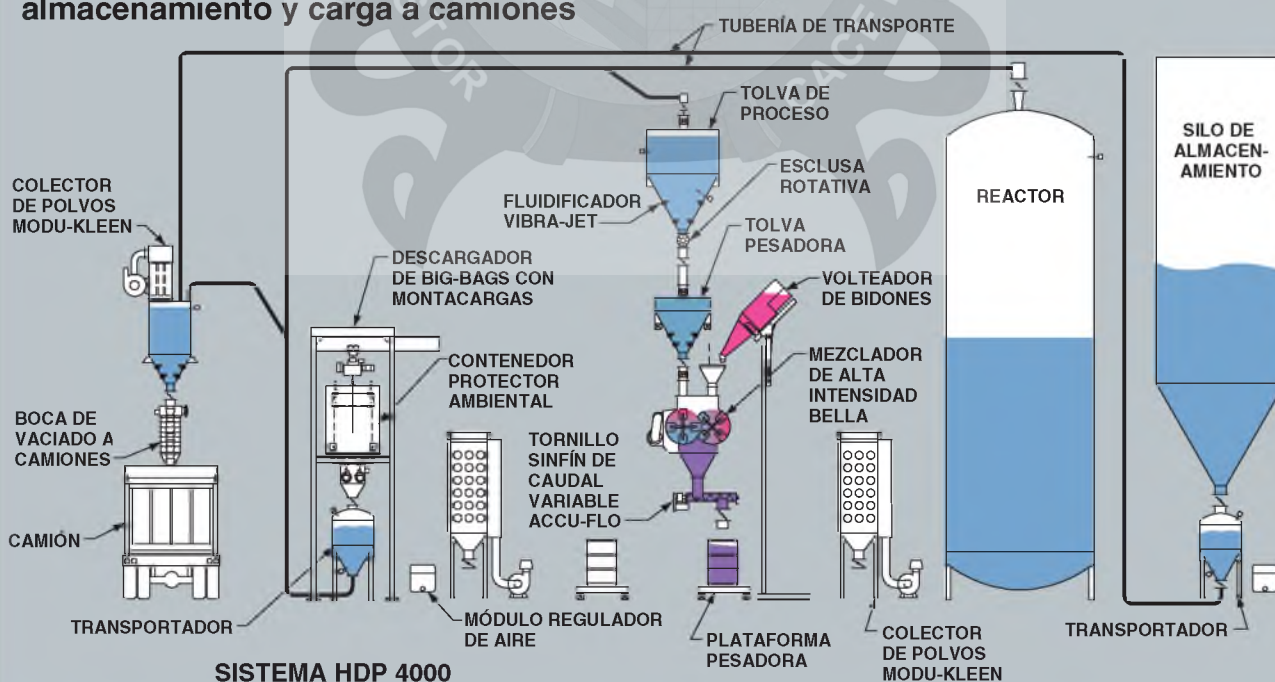
Sistema de descarga de adherente de moldeo para fundición, almacenamiento, premezcla, y pesaje hasta el molino mezclador



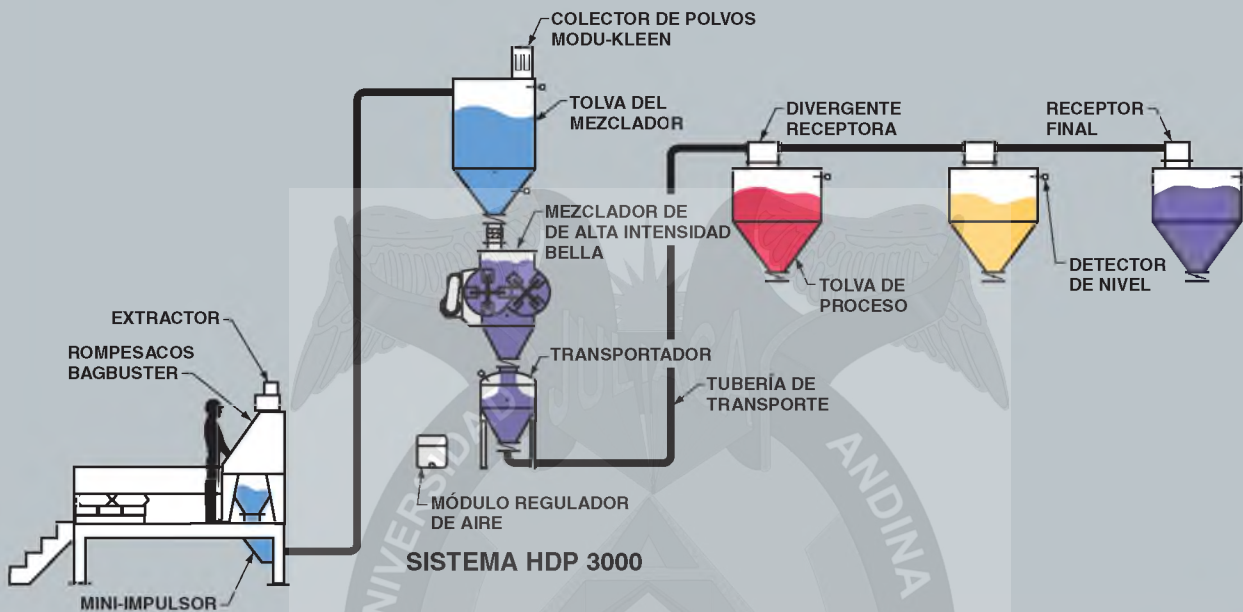
Sistema con rompesacos automático, pesaje y suministro de ingredientes químicos a depósitos reactores



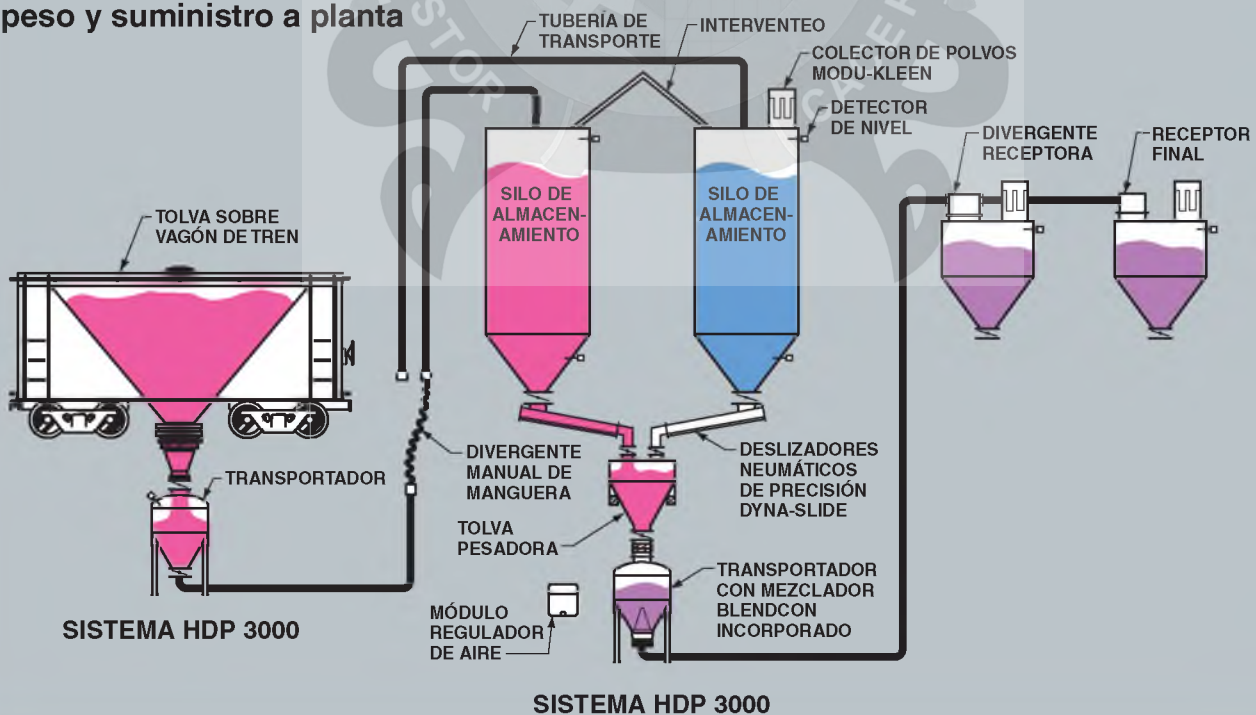
Descarga de big-bags con productos químicos peligrosos, mezcla de precisión, almacenamiento y carga a camiones



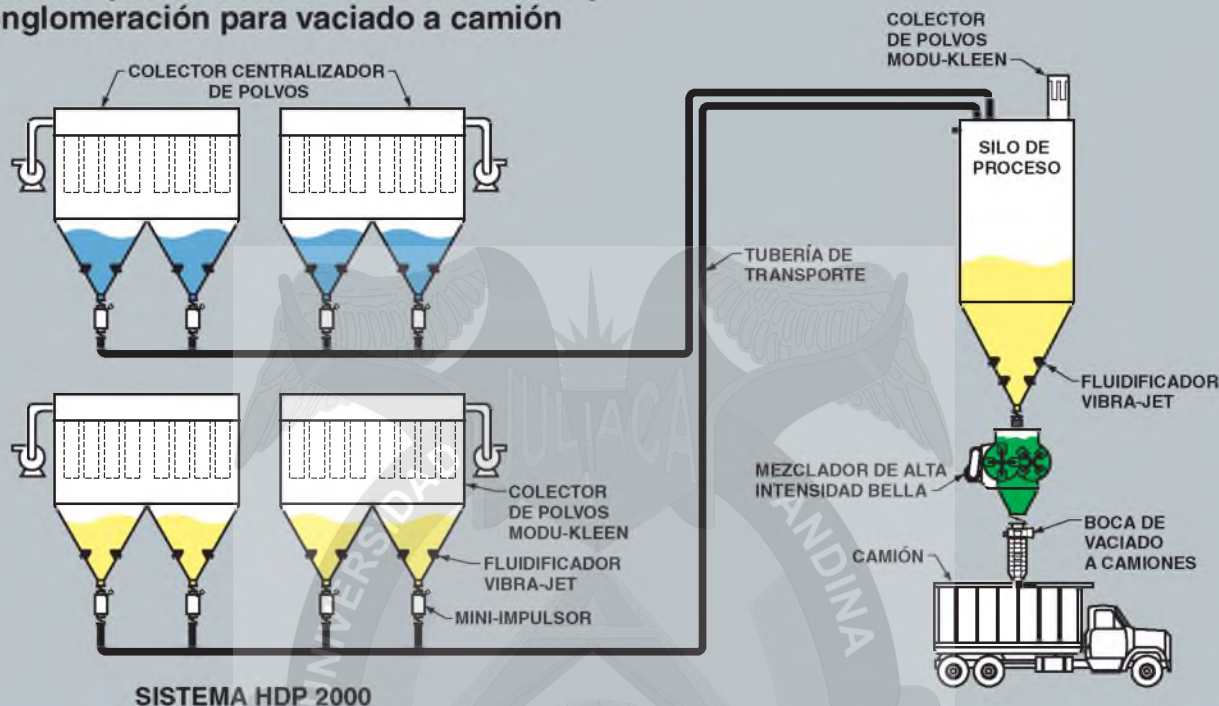
Rompesacos, mezcla de productos químicos sólidos y transporte a tres tolvas de proceso



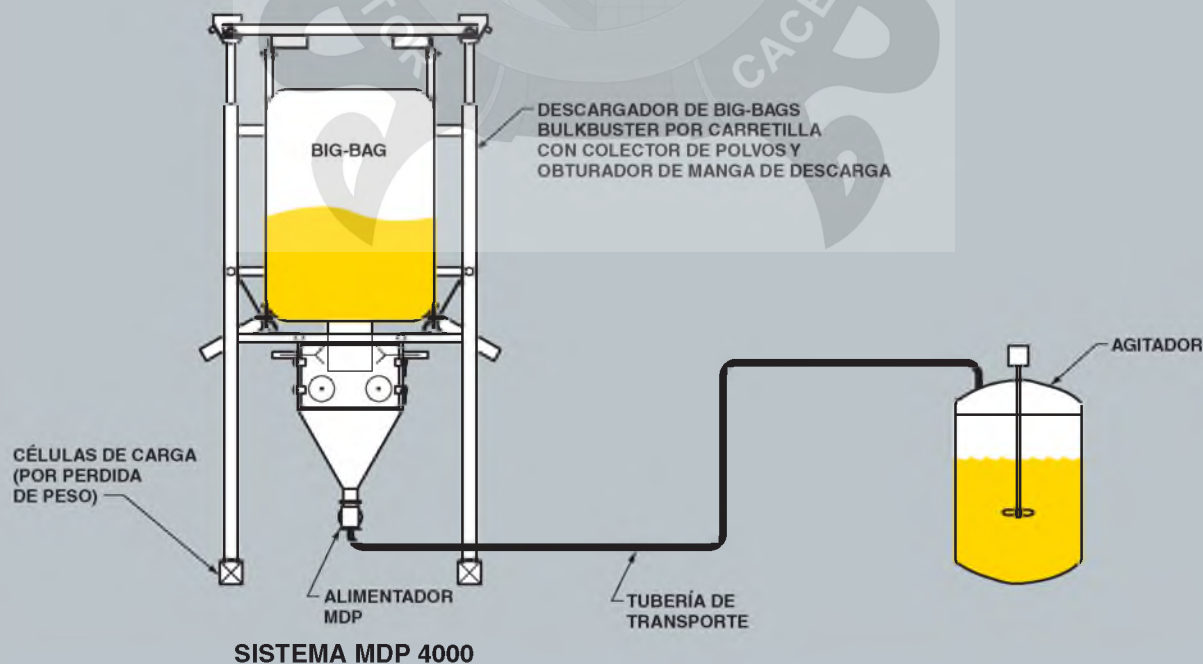
Descarga de vagones con pesaje por incremento de peso y suministro a planta



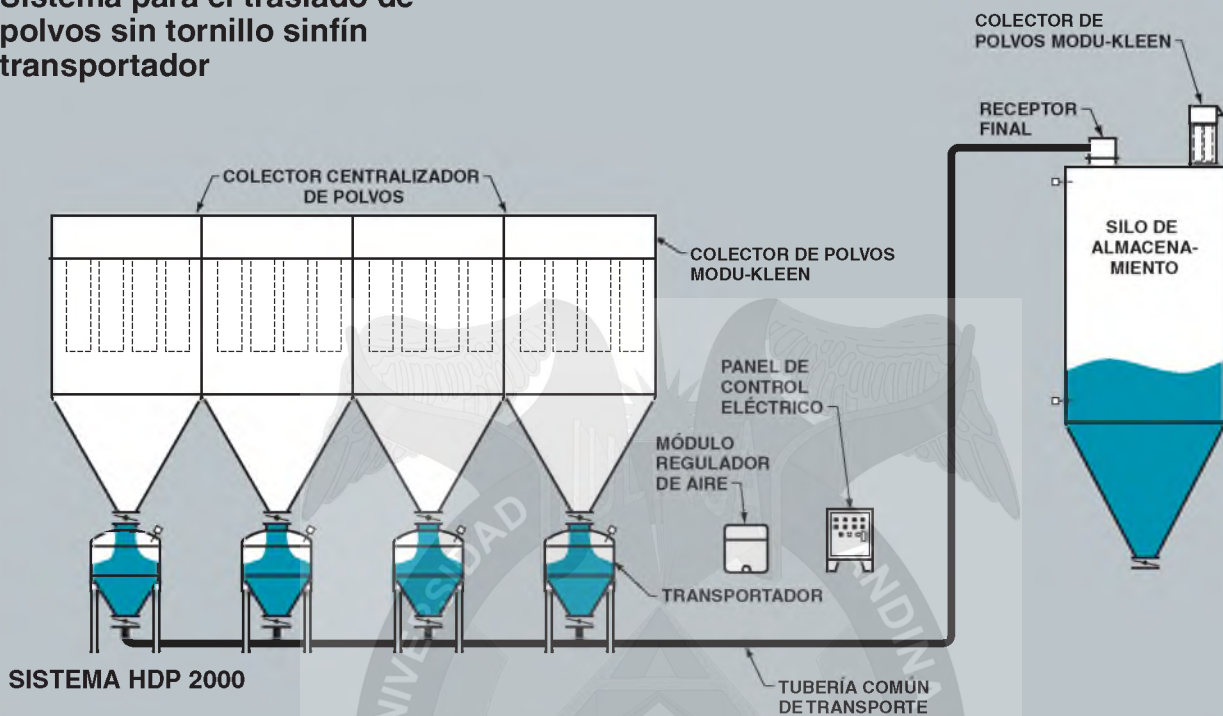
Vaciado de un colector centralizador de polvos con transporte neumático en fase densa y conglomeración para vaciado a camión



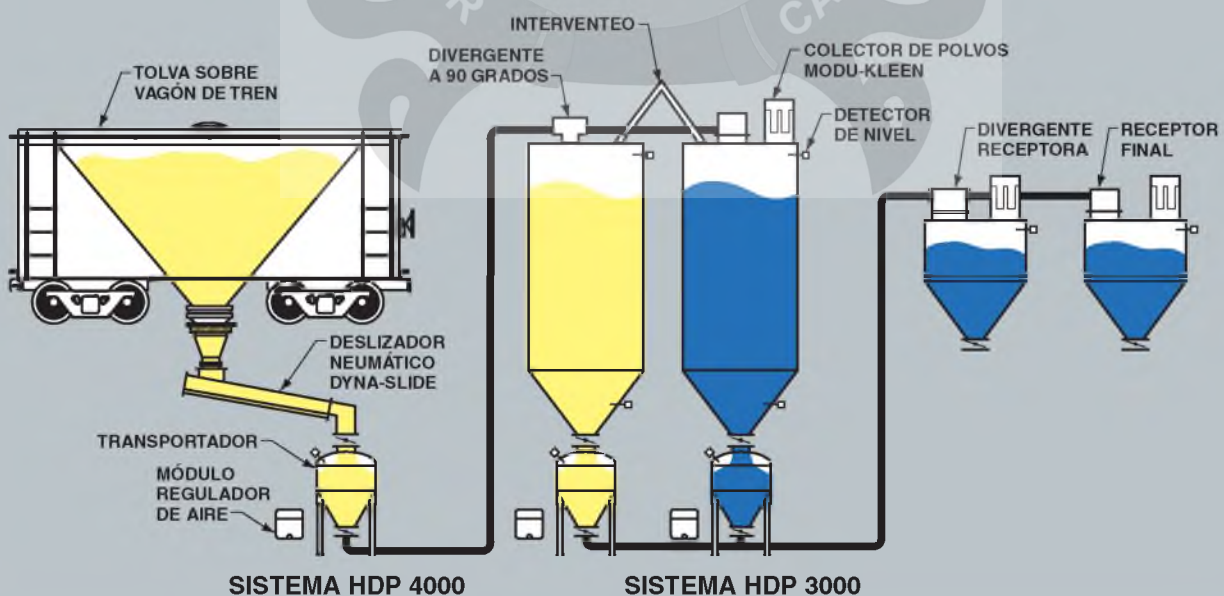
Descargador de big-bags con pesaje por pérdida de peso y tratamiento por lotes



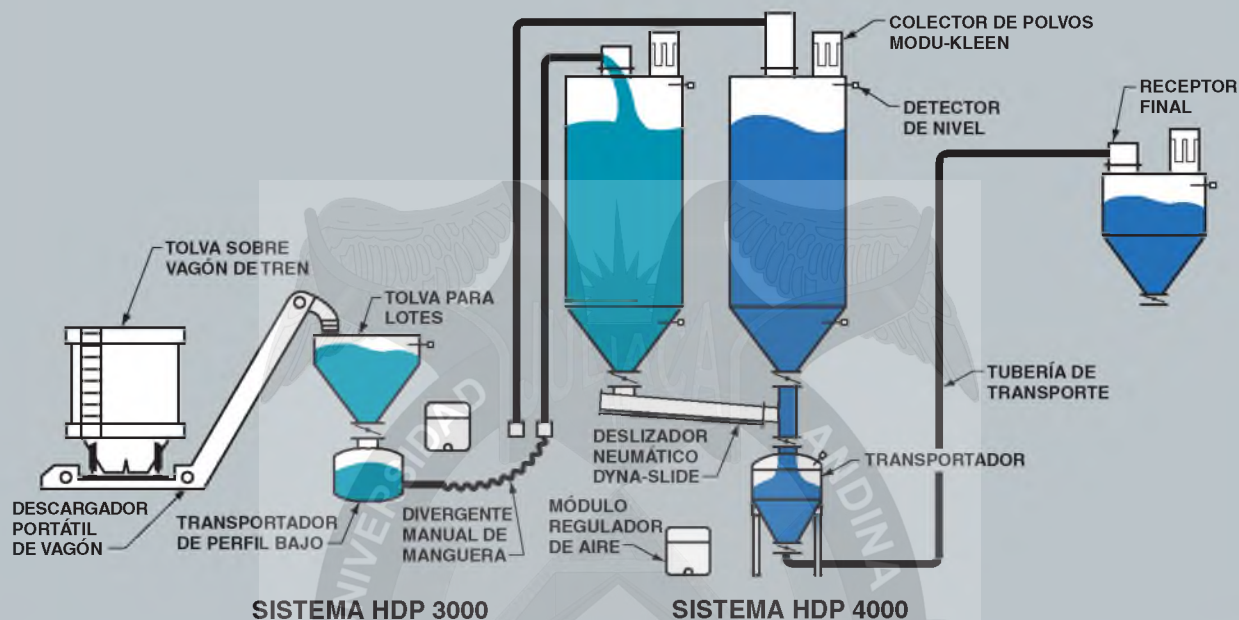
Sistema para el traslado de polvos sin tornillo sinfín transportador



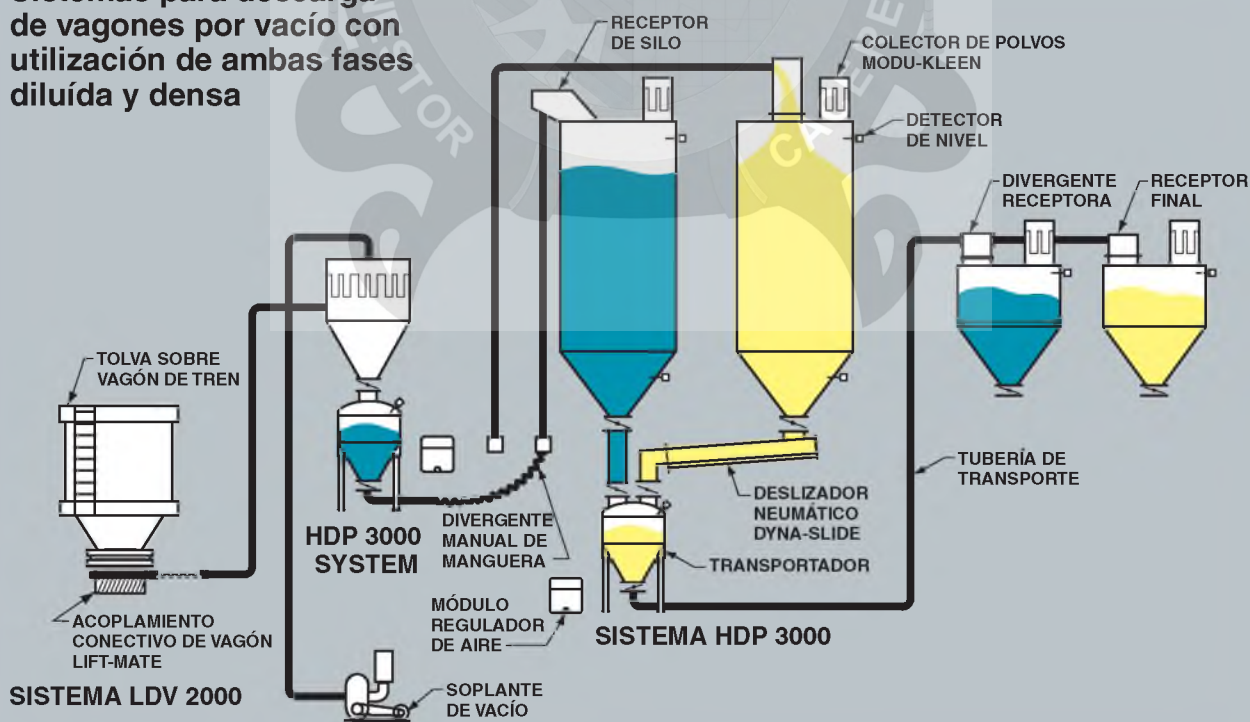
Sistema para descarga de vagones y suministro a planta



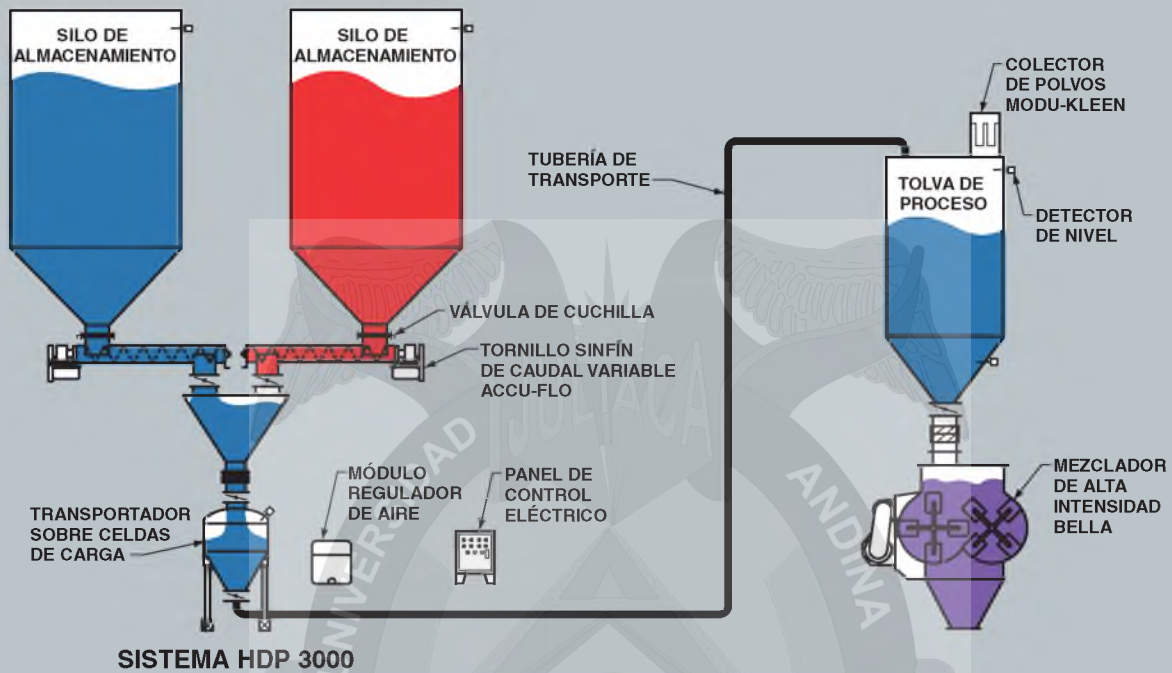
Sistema para descarga de vagones y suministro a planta



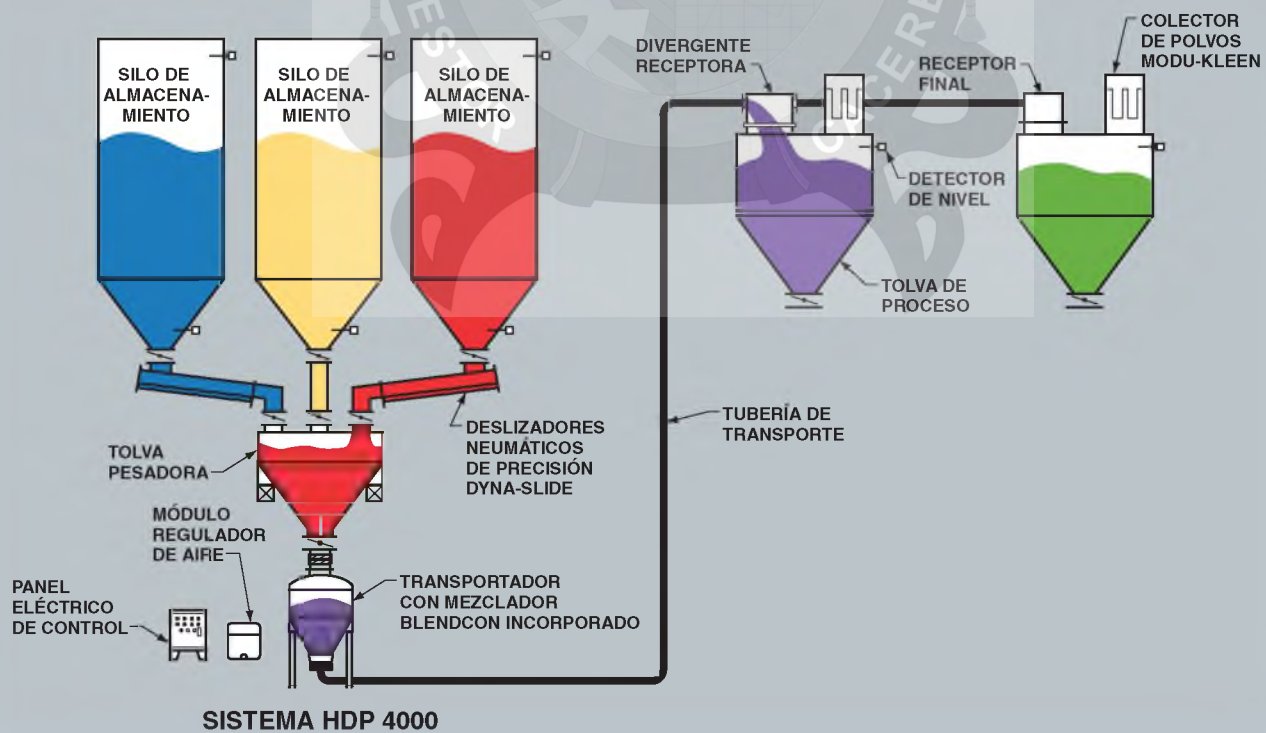
Sistemas para descarga de vagones por vacío con utilización de ambas fases diluída y densa



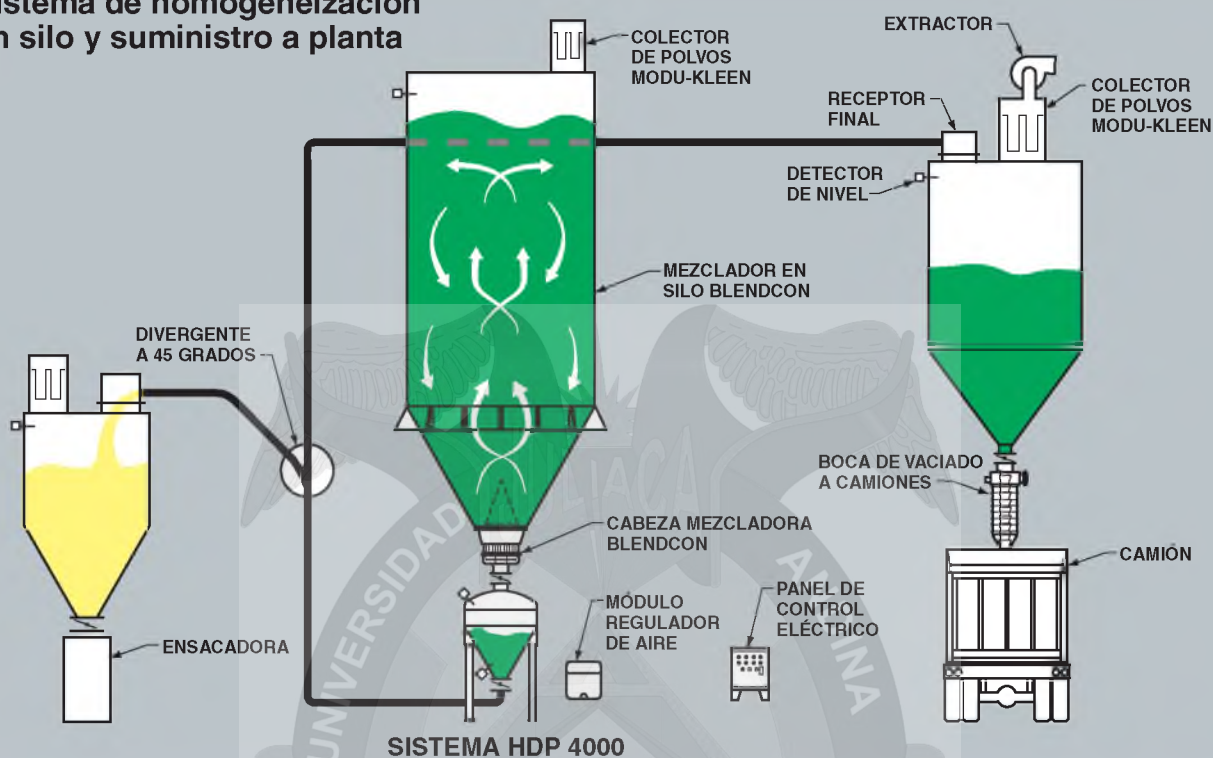
Sistemas con pesaje por aumento de peso y transporte por lotes



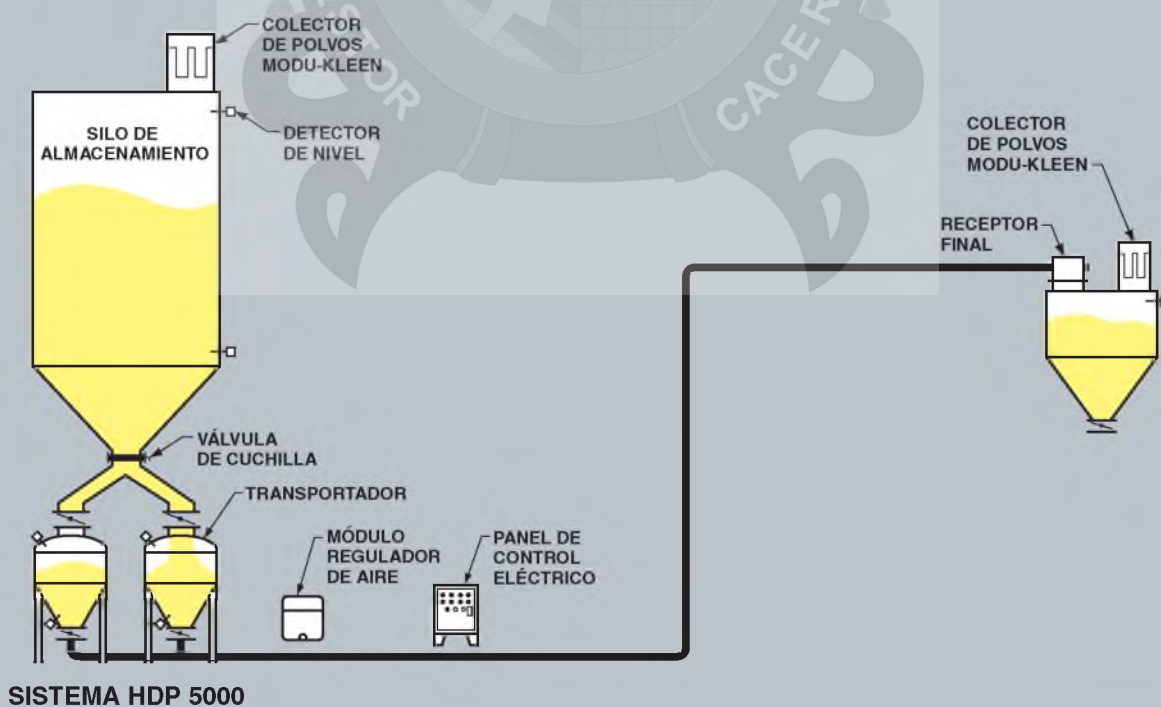
Pesaje y tratamiento por lotes



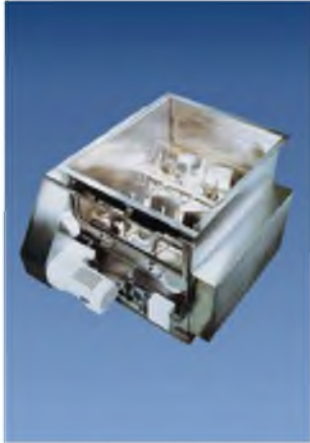
Sistema de homogeneización en silo y suministro a planta



Sistema continuo de suministro a planta



y sistemas de transporte neumático



Mezclador de Alta Intensidad Bella™



Mezclador continuo Bella™



Mezclador portátil Bella™



Enfriador/secador por lotes Bella™



Mezclador/secador Bella™



Mezclador/secador y aglomerador Bella™



Cabeza mezcladora para silo de 10 boquillas Blendcon™ serie 618



Cabeza mezcladora para silo de 12 boquillas Blendcon™ serie 812



Cabeza mezcladora para silo de 16 boquillas Blendcon™ serie 685



Cabeza mezcladora para silo de 16 boquillas Blendcon™ serie 816



Colector de polvos con mangas Modu-Kleen™ serie 250



Colector de polvos con cartuchos Modu-Kleen™ serie 681



*Colector de polvos con
cartuchos en vacío Modu-
Kleen™ serie 674*



*Colector de polvos con
cartuchos para silo
Modu-Kleen™ serie 343*



*Colector de polvos tipo
modular para silo Modu-
Kleen™ serie 669*



*Filtro venteo
Modu-Kleen™, serie 725,
modular*



*Transportador, modelo J
serie 496*



*Transportador, modelo JT
series 614*



Minitransportador



*Transportador, modelo L
series 720*



*Mini-impulsor
modelo 236*



*Mini-impulsor portátil
modelo 272*



*Descargador vacío
y presión serie 120*



*Válvula de alivio
Quik-Vent™ serie 684*

y sistemas de transporte neumático



Descargador de big-bags BulkBuster™ modelo F100



Conjunto modelo F1300 de descargador de big-bags BulkBuster™ y rompesacos BagBuster™



Descargador de big-bags con filtro interno BulkBuster™ modelo F2400



Descargador de big-bags con elevador de tijera BulkBuster™



Punzonador para vaciado de big-bags modelos F400/H400



Rompesacos BagBuster™ serie 319 y Compactador de sacos Cruncher™ serie 693



Rompesacos BagBuster™ serie 319 con tamiz vibratorio serie 491



Compactador de sacos tipo tornillo Scruncher™ serie 385



Receptor final serie 106



Divergente receptora serie 344



Válvula receptora serie 412



Receptor de silo serie 107



Válvula de mariposa de
asiento inflable
Posi-flate™



Válvula de guillotina de
asiento inflable serie 476



Aireador/desterronador
Tuffer™ serie 329



Aireador/desterronador
Tuffer™ serie 697



Ahorrador de Aire
DC-5™



Ahorrador de Aire
DC-5™, fabricado en
acero inoxidable



Detectores de nivel



Panel de control PLC



Soplador Quiet-Pac™
modelo 457



Soplador Quiet-Pac™
modelo 457



Sistema de pesaje de
aceite para mezcladores
de hule, serie 723



Modulo directo de
suministro de arena

y sistemas de transporte neumático



Sistema portátil para suministro de arena a locomotoras Little Sandy™ serie 714



Boca de descarga de locomotoras serie 339



Boca de carga telescópica serie 182



Lanza móvil de carga de camiones Mobile Truck Lance™ serie 616



Acoplamiento de descarga para camión y tren Lift-Mate™ modelo 26



Acoplamiento de descarga para camión y tren Lift-Mate™ modelo 89



Aparato portátil de descarga por vacío Rail-Kart™ modelo 25



Conjunto portátil modelo 39, con descarga por vacío Rail-Kart™ y desterronador



Deslizador neumático Dyna-Slide™



Deslizador neumático de alta precisión Dyna-Slide™



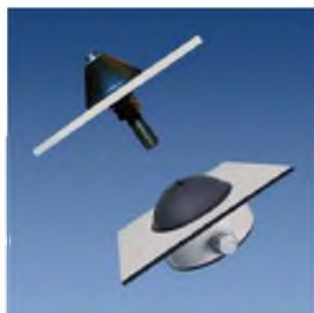
Tornillo sinfín de caudal variable Accu-Flo™ modelo 549



Tornillo sinfín pivotante Accu-Flo™ modelo 644



Transportador flexible de tornillo Accu-Flo™, serie 420



Fluidificadores Vibra-Jet™ serie 264 modelo D y serie 683 modelo K



Fluidificador de fondo de silo Vibra-Jet™ serie 256



Uniones de tubería



Tubo curvado resistente a la abrasión Superslik™



Variedades de codos: liso, acero y cerámico



Tubo curvado cerámico de gran radio



Junta para alargador modelo 15



Tomador de muestras automático serie 494



Visores de tubería View-X® serie 497



Divergente horizontal multiposiciones serie 676



Divergente vertical multiposiciones serie 676



Boca rotativa serie 125 modelo 189



Boca rotativa modelo 333



Divergente a 90 grados serie 237



Divergente para cruce serie 671



Divergente deslizante de 2 vías modelo 101



Divergente deslizante de 3 vías modelo 161



Divergente de 2 vías a 15 grados serie 259



Divergente de 3 vías a 15 grados serie 417



DYNAMIC AIR[®]
Conveying Systems

www.dynamicaire.com

Sede central

Dynamic Air Inc.
1125 Willow Lake Blvd.
St. Paul, MN 55110
USA

Tel +1 651 484 2900
Fax +1 651 484 7015
Email info@dynamicaire.com

Australia

Suite 122
300 Richmond Road
Grey Lynn Auckland 1002
Nueva Zelanda

Tel +64 9 376 3623 (NZ)
+61 3 9543 4888 (AU)
Fax +61 3 9543 4887
Email ausales@dynamicaire.com

Brasil

Dynamic Air Ltda.
Av. Mathias Lopes, 5821
12960-000 Nazaré Paulista SP
Brasil

Tel +55 11 4597 8000
+55 11 4597 8001
Fax
Email dynamicaire@dynamicaire.com.br

China

No. 21, Lane 2
Suide Road, Putuo District
Shanghai 200331
P. R. China

Tel +86 21 6432 5188
+86 21 6432 5141
+86 21 6432 5169
Fax +86 21 6432 6101
Email shanghai@dynamicaire.com

Reino Unido

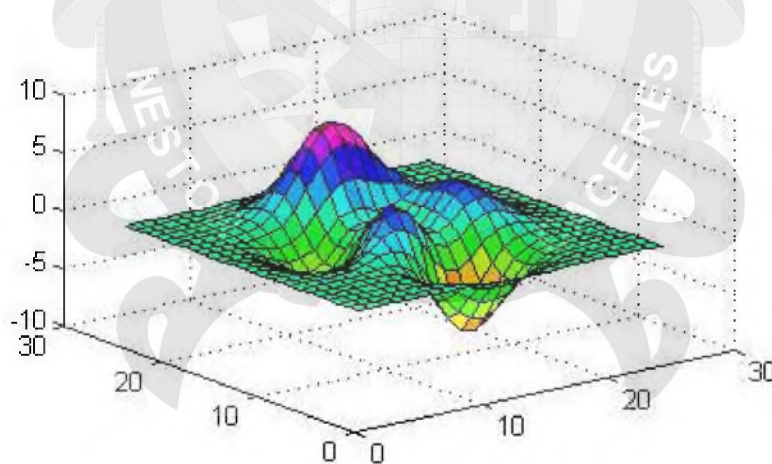
Dynamic Air Ltd.
26 Peverel Drive, Granby
Milton Keynes MK1 1QZ
Reino Unido

Tel +44 (0) 1908 622344
Fax +44 (0) 1908 646633
Email sales@dynamicaire.co.uk

Dynamic Air Conveying Systems[®], Accu-Flo[™], BagBuster[™], Bella[™], Blendcon[™], BulkBuster[™], Cruncher[™], DC-5[™], Dyna-Slide[™], Lift-Mate[™], Little Sandy[™], Mobile Truck Lance[™], Modu-Kleen[™], NETX[™], Quiet-Pac[™], Quik-Vent[™], Rail-Kart[™], Scruncher[™], Superistik[™], Tuffer[™], Vibra-Jet[™] and View-X[™] son marcas de Dynamic Air Inc., St. Paul, MN USA. Posi-plate[™]

© 2010 Dynamic Air Inc.
Boletín 9906-7-ES (dm)

MANUAL BASICO DE MATLAB



Apoyo a Investigación C.P.D.
Servicios Informáticos U.C.M.



1. INDICE :

1. INDICE	1
2. INTRODUCCION	3
3. CARACTERISTICAS BASICAS	5
3.1. Matemática sencilla	5
3.2. El espacio de trabajo de Matlab	5
3.3. Almacenar y recuperar datos	6
3.4. Formatos de visualización de números	6
3.5. Acerca de las variables	6
3.6. Otras características básicas	7
3.7. Ejemplos	7
4. CARACTERISTICAS CIENTIFICAS	8
4.1. Funciones matemáticas comunes	8
4.2. Números complejos	9
4.3. Ejemplos	9
5. AYUDA EN LINEA	10
5.1. La orden Help	10
5.2. La orden Lookfor	10
5.3. Ayuda conducida por menús	10
6. OPERACIONES CON ARRAYS	11
6.1. Arrays simples	11
6.2. Direccionamiento de arrays	11
6.3. Construcción de arrays	11
6.4. Matemáticas con arrays de escalares	12
6.5. Matemáticas con arrays de arrays	12
6.6. Orientación del array	12
6.7. Otras características	12
6.8. Ejemplos	13
7. GRAFICAS SIMPLES	14
8. ARCHIVOS SCRIPT	15
9. TEXTO	16
9.1. Ejemplos	16
10. OPERACIONES RELACIONALES Y LOGICAS	17
10.1. Operadores Relacionales	17
10.2. Operadores lógicos	17
10.3. Ejemplos	19
11. ALGEBRA LINEAL Y MATRICES	20
11.1. Características principales	20
11.2. Otras características	20
12. MANIPULACION MATRICIAL	21
12.1. Ejemplos	22
13. MATRICES ESPECIALES	25
13.1. Ejemplos	25
14. CONTROLES DE FLUJO	26
14.1. Ejemplos	27
15. FUNCIONES EN ARCHIVOS-M	28
16. ANALISIS DE DATOS	29



17. POLINOMIOS	30
17.1. Raíces	30
17.2. Otras características	30
17.3. Ejemplos	30
18. ANALISIS NUMERICO	32
18.1. Representación gráfica	32
18.2. Minimización	32
18.3. Localización de ceros	32
18.4. Integración	32
18.5. Diferenciación	33
18.6. Ecuaciones diferenciales	33
18.7. Ejemplos	33
19. GRAFICOS-2D	34
19.1. Utilización de la orden Plot	34
19.2. Estilo de líneas, marcadores y colores	34
19.3. Adición de rejillas y etiquetas	34
19.4. Ejes a medida	35
19.5. Impresión de figuras	35
19.6. Manipulación de datos	36
19.7. Otras características de los gráficos 2-D	37
19.8. Ejemplos	37
20. GRAFICOS 3-D	40
20.1. Gráficos de línea	40
20.2. Gráficos de malla y de superficie	40
20.3. Manipulación de gráficos	40
20.4. Otras características de los gráficos 3-D	40
20.5. Comprensión de los mapas de color	41
20.6. Utilización de mapas de color	41
20.7. Visualización de mapas de color	42
20.8. Creación y alteración de los mapas de color	42
20.9. Ejemplos	42

2. INTRODUCCION:

Matlab es al mismo tiempo un entorno y un lenguaje de programación. Uno de sus puntos fuertes es el hecho de que el lenguaje de Matlab permite construir nuestras propias herramientas reusables. Podemos fácilmente crear nuestras propias funciones y programas especiales (conocidos como archivos-M) en código Matlab. Los podemos agrupar en Toolbox: colección especializada de archivos-M para trabajar en clases particulares de problemas.

La manera más fácil de visualizar Matlab es pensar en él como en una calculadora totalmente equipada, aunque, en realidad, ofrece muchas más características y es mucho más versátil que cualquier calculadora. Matlab es una herramienta para hacer cálculos matemáticos. Es una plataforma de desarrollo de aplicaciones, donde conjuntos de herramientas inteligentes para la resolución de problemas en áreas de aplicación específica, a menudo llamadas toolboxes, se pueden desarrollar con facilidad relativa.

Se encuentra instalada en la máquina DEC-AXP_2100 Digital UNIX el programa MATLAB.

***** Entre sus utilidades, se encuentran: *****

- Cálculo matricial y Algebra lineal.
- Polinomios e interpolación.
- Regresión.
- Ajuste de funciones.
- Ecuaciones diferenciales ordinarias.
- Integración.
- Funciones.
- Gráficos bi y tridimensionales.

***** Además se encuentran disponibles los módulos (toolboxes) *****

- Optimización.
- Procesamiento de señales.
- Ecuaciones en derivadas parciales.
- Simulink: Simulación no lineal.

UTILIZACION DEL PROGRAMA MATLAB

Utilización en interactivo, dentro del entorno Matlab :

El comando de utilización es:

matlab

Es un entorno textual, con lo cual no es necesario habilitar una sesión o emulación X.

Sin embargo, para utilizar algunas ayudas y para realizar gráficos, se requiere una sesión o emulación X.

Para ello, debe prepararse el dispositivo gráfico de pantalla mediante el comando:

```
setenv DISPLAY dir-internet-terminal-o-Pc:0
```

y hay que habilitar una emulación X (p.e. Xwin), si no se trabaja desde una pantalla gráfica.

Utilización en interactivo, fuera del entorno de Matlab :

```
matlab <fichero_texto_matlab >fichero_salida_matlab
```

Utilización en BACH:

```
qsub -q cola_batch fichero_bat
```

donde:

cola_batch puede ser cualquier cola batch.

Ej: batch30min, batch4horas, batchduro...

fichero_bat es un fichero que contiene una línea:

```
matlab <fichero_texto_matlab >fichero_salida_matlab
```

En salida, además de *fichero_salida_matlab* se obtienen los ficheros:

```
fichero_bat.o_n_job  
fichero_bat.e_n_job
```

Nota Importante: Si los ficheros a los que se hace referencia en *fichero_bat* no se encuentran en el directorio de login del usuario, debe especificarse el camino de los mismos. (Se puede hacer uso de la variable de entorno **\$HOME**)

Para mayor información: AIDE

3. CARACTERISTICAS BASICAS :

3.1. MATEMATICA SENCILLA :

Matlab no tiene en cuenta los espacios.

El punto y coma al final de la línea le dice a Matlab que evalúe la línea, pero que no nos diga la respuesta.

Si la sentencia es demasiado larga para que quepa en una línea, una elipsis consistente en tres puntos (...) seguido por **Enter** indica que la sentencia continúa en la línea siguiente.

Matlab ofrece las siguientes operaciones básicas:

OPERACION	SIMBOLO
Suma, $a+b$	+
Resta, $a-b$	-
Multiplicación, $a*b$	*
División, a/b	/ o \
Potencia, a^b	^

Su precedencia es como sigue:

$^ > / , * > + , -$

3.2. EL ESPACIO DE TRABAJO DE MATLAB:

Para comprobar el valor de una variable, hay que preguntar a Matlab por ello introduciendo su nombre a continuación del indicativo de petición de orden.

Para obtener una lista de las variables usamos la orden: **who**.

Para recordar órdenes previas, usamos las teclas de cursor del teclado.

3.3. ALMACENAR Y RECUPERAR DATOS :

Matlab puede guardar y cargar datos de los archivos del computador. En el menú **File**, la opción **Save Workspace as...** guarda todas las variables actuales; y **Load Workspace...** carga variables de un espacio de trabajo guardado previamente.

3.4. FORMATOS DE VISUALIZACION DE NUMEROS :

Matlab no cambia la representación interna de un número cuando se escogen distintos formatos; sólo se modifica la visualización del número.

A continuación se muestra la tabla con los formatos numéricos de Matlab:

ORDEN DE MATLAB	COMENTARIOS
Format long	16 dígitos
Format short e	5 dígitos más exponente
Format long e	16 dígitos más exponente
Format hex	Hexadecimal
Format bank	2 dígitos decimales
Format +	Positivo, negativo o cero
Format rat	Aproximación racional
Format short	Visualización por defecto

3.5. ACERCA DE LAS VARIABLES :

Por defecto, Matlab almacena resultados en la variable **ans**.

Las variables son sensibles a las mayúsculas y pueden contener hasta 19 caracteres. Deben comenzar con una letra.

Matlab tiene algunas variables especiales:

VARIABLE	VALOR
ans	Nombre por defecto de la variable usada para los resultados
pi	Razón de una circunferencia a su diámetro
eps	Número más pequeño tal que, cuando se le suma 1, crea un número en coma flotante en el computador mayor que 1
inf	Infinito
NaN	Magnitud no numérica
i y j	$i = j = \sqrt{-1}$
realmin	El número real positivo más pequeño que es utilizable
realmax	El número real positivo más grande que es utilizable

Cuando Matlab realiza un cálculo, lo hace utilizando los valores que conoce del momento en que se evaluó la orden pedida.

Mediante la orden **clear** podemos borrar las variables en el espacio de trabajo.

3.6. OTRAS CARACTERISTICAS BASICAS :

Los comentarios se escriben después del signo de tanto por ciento (%).

Podemos colocar órdenes múltiples en una línea si se separan por comas o puntos y comas. Las comas le dicen a Matlab que visualice los resultados; los puntos y comas suprimen la impresión.

Para interrumpir Matlab en cualquier momento: **Ctrl-C**.

Escribiendo la orden **quit** termina Matlab.

3.7. EJEMPLOS :

```
>> manzanas=4           % Número de manzanas.
manzanas =
     4
>> platanos=6, melones=2; % Número de plátanos y de melones.
platanos =
     6
>> fruta=manzanas+platanos+melones % Almacena el resultado en la variable fruta
fruta =
    12
>> coste=manzanas*25+platanos*22+melones*99
coste =
    430
>> coste_medio=coste/fruta
coste_medio =
    35.8333
>> who                 % Da una lista de los nombres de las variables de nuestro programa
```

Your variables are:

```
manzanas  platanos  melones  fruta
coste     coste_medio
>> clear manzanas    % Borra la variable manzanas.
```

4. CARACTERISTICAS CIENTIFICAS :

4.1. FUNCIONES MATEMATICAS COMUNES :

A continuación se muestra una tabla con las funciones matemáticas en Matlab:

FUNCIONES MATEMATICAS ESPECIALES	
abs (x)	Valor absoluto o magnitud de un número complejo
acos (x)	Inversa del coseno
acosh (x)	Inversa del coseno hiperbólico
angle (x)	Angulo de un número complejo
asin (x)	Inversa del seno
asinh (x)	Inversa del seno hiperbólico
atan (x)	Inversa de la tangente
atan2 (x,y)	Inversa de la tangente en los cuatro cuadrantes
atanh (x)	Inversa de la tangente hiperbólica
ceil (x)	Redondea hacia más infinito
conj (x)	Complejo conjugado
cos (x)	Coseno
cosh (x)	Coseno hiperbólico
exp (x)	Exponencial
fix (x)	Redondea hacia cero
floor (x)	Redondea hacia menos infinito
imag (x)	Parte imaginaria de un número complejo
log (x)	Logaritmo natural
log10 (x)	Logaritmo decimal
real (x)	Parte real de un número complejo
rem (x,y)	Resto después de la división
round (x)	Redondea hacia el entero más próximo
sign (x)	Devuelve el signo del argumento
sin (x)	Seno
sinh (x)	Seno hiperbólico
sqrt (x)	Raíz cuadrada
tan (x)	Tangente
tanh (x)	Tangente hiperbólica

Matlab sólo opera en radianes.

4.2 NUMEROS COMPLEJOS :

Matlab sigue el convenio usual, donde un número complejo se escribe como $a+bi$. La terminación con los dos caracteres **i** y **j** sólo funciona con números simples, no con expresiones.

Las operaciones matemáticas sobre números complejos se escriben de la misma forma que con números reales.

Las funciones **real**, **imag**, **abs** y **angle** son útiles para la conversión entre las formas polar y rectangular.

4.3. EJEMPLOS :

Ejemplo 1:

```
>>a=1; b=4; c=13;
>>x1=(-b+sqrt(b^2-4*a*c))/(2*a)
x1 =
    -2.0000 + 3.0000i
>>x2=(-b-sqrt(b^2-4*a*c))/(2*a)
x2 =
    -2.0000 - 3.0000i
>> a*x1^2+b*x1+c      % Sustituimos x1 para comprobar la respuesta.
ans =
     0
>> a*x2^2+b*x2+c      % Sustituimos x2 para comprobar la respuesta.
ans =
     0
```

Ejemplo 2:

```
>> c1=1-2i           % Con j en lugar de i también funciona.
c1 =
    1.0000 - 2.0000i
>>c2=3*(2-sqrt(-1)*3); c3=sqrt(-2); c4=6+sin(.5)*j
c4 =
    6.0000 + 0.4794i
>>c5=(c1+c2)/c3
c5 =
   -7.7782 - 4.9497i
```

5. AYUDA EN LINEA :

Matlab proporciona asistencia a través de sus capacidades de **ayuda en línea**. Estas capacidades están disponibles en tres formas:

5.1. LA ORDEN HELP :

Escribiendo **help<tema>** visualiza la ayuda acerca de ese tema, si existe.

También proporciona asistencia escribiendo simplemente **help**.

5.2. LA ORDEN LOOKFOR :

Proporciona ayuda buscando a través de todas las primeras líneas de las ayudas a temas de Matlab y devolviendo aquellos que contienen una palabra clave que hay que especificar. Lo más importante es que la palabra clave no necesita ser una orden de Matlab.

5.3. AYUDA CONDUCTA POR MENUS :

Esta ayuda está disponible seleccionando **Table of Contents...** o **Index...** del menú **Help**.

6. OPERACIONES CON ARRAYS :

6.1. ARRAYS SIMPLES :

Para crear un array en Matlab comenzamos con un corchete de apertura, introducimos los valores deseados separados por espacios (o por comas) y cerramos el array con un corchete de cierre.

Variable=[(lista de números separados por espacios o comas)]

6.2. DIRECCIONAMIENTO DE ARRAYS :

Los elementos individuales de un array se acceden utilizando subíndices; así, $x(1)$ es el primer elemento en x .

Para acceder a un bloque de elementos a la vez, se usa la notación de dos puntos; así, $x(1:5)$ nos da los elementos del primero al quinto del array de elementos. Si introducimos un número entre el primero y el segundo, también separado por dos puntos (:), entonces se mostrarán los elementos del primero al último indicado, incrementados o decrementados el número que aparece en el centro; así, si ponemos $x(2:2:7)$, obtenemos el segundo, cuarto y sexto elemento del array.

Otra forma de obtener un conjunto concreto de elementos del array es indicando entre corchetes las posiciones de los elementos que queremos obtener; ponemos paréntesis fuera de los corchetes. Ejemplo: $y([8\ 2\ 9\ 1])$.

6.3. CONSTRUCCION DE ARRAYS :

Otras dos formas de introducir arrays son:

a.- Mediante la notación dos puntos, $(0:0.1:1)$ crea un array que comienza en cero, incrementa 0.1 y finaliza en 1.

b.- Mediante la función **linspace** :

$\text{linspace}(\text{primer_exponente}, \text{último_exponente}, \text{número_de_valores})$

Las dos formas anteriores crean arrays donde los elementos individuales están espaciados linealmente entre sí. Para espaciado logarítmico:

$\text{logspace}(\text{primer_exponente}, \text{último_exponente}, \text{número_de_valores})$

6.4. MATEMATICAS CON ARRAYS DE ESCALARES :

Las operaciones matemáticas sencillas entre escalares y arrays siguen una interpretación natural, es decir, se aplica la operación a todos los elementos del array.

6.5. MATEMATICAS CON ARRAYS DE ARRAYS :

Cuando dos arrays tienen la misma longitud y orientación, la suma, resta, multiplicación y división se aplican sobre la base de elemento-a-elemento.

Para multiplicar dos arrays elemento a elemento, escribimos `.*`, ya que si ponemos sólo `*`, sería multiplicación matricial. Lo mismo para la división de arrays y la potencia de un array.

Se pueden combinar operaciones escalares y de arrays.

6.6. ORIENTACION DEL ARRAY :

Separar los elementos por espacios o comas especifica elementos en distintas columnas (*vector fila*); separar elementos por puntos y comas especifica elementos en filas diferentes (*vector columna*).

Usando el operador *transpuesta* (`'`) de Matlab, podemos pasar de vector fila a vector columna, y viceversa.

En el caso de un array complejo, la *transpuesta* (`'`) da la transpuesta compleja conjugada. La *transpuesta con punto* (`.'`) transpone el array, pero no lo conjugua.

La creación de *matrices* (orientación *rectangular*) sigue la misma estructura de los vectores fila y columna.

Además de los puntos y comas, pulsando la tecla **Return** cuando se está introduciendo una matriz, también le dice a Matlab que comience una nueva fila.

Una matriz puede tener múltiples filas, pero cada fila debe tener un número igual de columnas.

6.7. OTRAS CARACTERISTICAS :

La orden **whos** proporciona información adicional sobre los arrays.

6.8. EJEMPLOS :

Ejemplo 1:

```
>> x=[0 .1*pi .2*pi .3*pi .4*pi .5*pi .6*pi .7*pi .8*pi .9*pi pi]
x =
Columns 1 through 7
    0    0.3142    0.6283    0.9425    1.2566    1.5708    1.8850
Columns 8 through 11
    2.1991    2.5133    2.8274    3.1416
>> y=sin(x)
y =
Columns 1 through 7
    0    0.3090    0.5878    0.8090    0.9511    1.0000    0.9511
Columns 8 through 11
    0.8090    0.5878    0.3090    0.0000
>> x(3)           % El tercer elemento de x.
ans =
    0.6283
>> x(1:5)         % Para obtener los elementos del primero al quinto en x.
ans =
    0    0.3142    0.6283    0.9425    1.2566
>> y(3:-1:1)      % Comienza con 3, disminuye en una unidad, y para en 1.
ans =
    0.5878    0.3090    0
>> y([8 2 9 11]) % Obtenemos los elementos 8°, 2°, 9° y 11° del array y.
ans =
    0.8090    0.3090    0.5878    0
```

Ejemplo 2 :

```
>> a=1:5,b=1:2:9
a =
    1    2    3    4    5
b =
    1    3    5    7    9
>> c=[b a]       % Crea un array de los elementos de b seguidos de los elementos de a
c =
    1    3    5    7    9    1    2    3    4    5
>> a-2           % Matemáticas con arrays de escalares.
ans =
   -1    0    1    2    3
>> a.*b          % Matemáticas con arrays de arrays.
ans =
    1    6   15   28   45
```

7. GRAFICAS SIMPLES :

Primero se crean los valores para el eje horizontal X (variable independiente); a continuación se calcula el eje vertical Y (variable dependiente); la orden **plot** genera la gráfica:

```
>>plot(x,y)
```

Opciones de la función **plot**:

- Superponer gráficas sobre los mismos ejes:

```
>>plot(x,y,x,z)
```

- Usar distintos tipos de líneas para el dibujo de la gráfica:

```
>>plot(x,y,'+')
```

Además se pueden colocar etiquetas sobre los ejes:

- Etiqueta sobre el eje X de la gráfica actual:

```
>>xlabel('texto')
```

- Etiqueta sobre el eje Y de la gráfica actual:

```
>>ylabel('texto')
```

Un título en la cabecera de la gráfica actual:

```
>>title('texto')
```

Dibujar una rejilla:

```
>>grid
```

etc.

8. ARCHIVOS SCRIPT :

Matlab permite colocar órdenes en un simple archivo de texto y, a continuación, decirle a Matlab que lo abra y evalúe las órdenes exactamente como si hubiesen sido escritas desde la línea de orden de Matlab. Estos archivos se llaman archivos **scrip** o **archivos-M**, y deben finalizar con la extensión '**m**'.

Para crear un archivo-M escogemos **New** del menú **File** y seleccionamos **M-file**. Una vez guardado este archivo-M en el disco, Matlab ejecutará las órdenes en dicho archivo simplemente escribiendo su nombre (sin extensión) en la línea de orden de Matlab.

Las órdenes dentro del archivo-M tienen acceso a todas las variables en el espacio de trabajo de Matlab, y todas las variables creadas en el archivo-M se hacen parte del espacio de trabajo.

Normalmente, las órdenes leídas desde el archivo-M no se visualizan cuando se evalúan. La orden **echo on** le dice a Matlab que visualice o efectúe un eco de las órdenes en la ventana de **Orden** cuando se leen y evalúan. También existe la función **echo off**.

Ordenes de gestión de archivos:

ORDEN	DESCRIPCION
what	Devuelve un listado de todos los archivos-M en el directorio actual.
dir	Lista todos los archivos en el directorio o carpeta actual.
ls	Lo mismo que dir.
type test	Visualiza el archivo-M test.m en la ventana de orden.
delete test	Suprime el archivo-M test.m.
cd path	Cambia al directorio o carpeta dada por path.
chdir path	Lo mismo que cd path.
cd	Muestra el directorio o carpeta de trabajo presente.
chdir	Lo mismo que cd.
pwd	Lo mismo que cd.
which test	Visualiza el camino del directorio de test.m.

9. TEXTO :

Una **cadena de caracteres** es texto rodeado por comillas simples ('). Se manejan como vectores filas.

Las cadenas se direccionan y manipulan igual que los arrays.

Son posibles las operaciones matemáticas sobre cadenas. Una vez hecha una operación matemática sobre una cadena, ésta se ve como un array de números en ASCII.

Para ver la representación ASCII de una cadena, tomamos su valor absoluto o sumamos cero.

Para restaurarla y verla de nuevo como cadena de caracteres, usamos la función **setstr(var)**.

Cambiamos a caracteres en minúsculas añadiendo la diferencia entre 'a' y 'A'.

9.1. EJEMPLOS :

Ejemplo 1:

```
>> t='Esto es una cadena de caracteres'
t =
    Esto es una cadena de caracteres
>> u=t(13:18)           % Los elementos que van del 13 al 18 son la palabra cadena.
u =
    cadena
>> u=t(18:-1:13)       % Palabra cadena deletreada de forma inversa.
u =
    anedac
```

Ejemplo 2:

```
>> s='ABCDEFGFG'
s =
    ABCDEFG
>> m=abs(s)
m =
    65    66    67    68    69    70    71
>> setstr(m)
ans =
    ABCDEFG
>> n=s+5; setstr(n)
ans =
    FGHIJKL
```

10. OPERACIONES RELACIONALES Y LOGICAS :

Como entradas a todas las expresiones relacionales y lógicas, Matlab considera que cualquier número distinto de cero es verdadero, y es falso si es igual a cero.

La salida produce 1 si es verdadero, y 0 si es falso.

10.1. OPERADORES RELACIONALES :

OPERADOR	DESCRIPCION
<	Menor que
<=	Menor que o igual a
>	Mayor que
>=	Mayor que o igual a
==	Igual a
~=	No igual a

La salida de las operaciones lógicas se pueden utilizar también en operaciones matemáticas.

10.2. OPERADORES LOGICOS :

Los operadores lógicos proporcionan un medio de combinar o negar expresiones relacionales.

OPERADOR	DESCRIPCION
&	AND
	OR
~	NOT

Además de los operadores relacionales y lógicos básicos anteriores, Matlab proporciona una serie de funciones relacionales y lógicas adicionales que incluyen:

FUNCION	DESCRIPCION
<code>xor(x,y)</code>	Operación OR exclusiva.Devuelve unos donde o x o y es distinto de cero (verdadero). Devuelve ceros donde ambos x e y son ceros (falso) o ambos son distinto de cero (verdadero).
<code>any(x)</code>	Devuelve uno si algún elemento en un vector x es no nulo. Devuelve uno para cada columna en una matriz x que tiene elementos no nulos.
<code>all(x)</code>	Devuelve uno si todos los elementos en un vector x son no nulos. Devuelve uno para cada columna en una matriz x que tiene todos los elementos no nulos.
<code>isnan(x)</code>	Devuelve unos en magnitudes no numéricas (NaN) en x.
<code>isinf(x)</code>	Devuelve unos en magnitudes infinitas (inf) en x.
<code>finite(x)</code>	Devuelve unos en valores finitos en x.

La siguiente carta muestra el orden de precedencia para operadores aritméticos, lógicos y relacionales, con la fila superior teniendo máxima precedencia.

TABLA DE PRECEDENCIA DE OPERADORES						
\wedge	\cdot	\wedge	$!$	$!$		
$*$	$/$	\backslash	\cdot	$/$	\backslash	
$+$	$-$	\sim	$+(\text{unario})$	$-(\text{unario})$		
$:$	$>$	$<$	$>=$	$<=$	$==$	$\sim=$
$ $	$\&$					

10.3. EJEMPLOS :

Ejemplo 1:

```
>> A=1:9,B=9-A
A =
     1     2     3     4     5     6     7     8     9
B =
     8     7     6     5     4     3     2     1     0
>> tf=A>4                                % Encuentra elementos de A que son mayores que 4.
tf =
     0     0     0     0     1     1     1     1     1
>> tf=A==B                                % Encuentra elementos de A que son iguales a aquellos en B.
tf =
     0     0     0     0     0     0     0     0     0
>> tf=B-(A>2)                            % Encuentra dónde A>2 y resta el resultado de B.
tf =
     8     7     5     4     3     2     1     0    -1
```

Ejemplo 2:

```
>> A=1:9;B=9-A;
>> tf=A>4                                % Encuentra dónde A es mayor que 4.
tf =
     0     0     0     0     1     1     1     1     1
>> tf=~(A>4)                            % Niega el resultado anterior.
tf =
     1     1     1     1     0     0     0     0     0
>> tf=(A>2)&(A<6)                        % Devuelve unos donde A es mayor que 2 y menor que 6.
tf =
     0     0     1     1     1     0     0     0     0
```

Ejemplo 3:

```
>> x=linspace(0,10,100);                % Crear datos.
>> y=sin(x);                             % Calcular seno.
>> z=(y>=0).*y;                           % Fija a cero los valores negativos de sin(x).
>> z=z+0.5*(y<0);                        % Si sin(x) es negativo, sumar 1/2.
>> z=(x<=8).*z;                          % Fijar a cero los valores mayores que x=8.
>> plot(x,z)                             % Dibuja la gráfica de ejes x y z.
>> xlabel('x'), ylabel('z=f(x)'),         % Etiquetas de ambos ejes.
>> title('Una señal discontinua')         % Etiqueta de la gráfica.
```

11. ALGEBRA LINEAL Y MATRICES :

11.1. CARACTERISTICAS PRINCIPALES :

En Matlab, la multiplicación matricial se denota con la notación asterisco *.
La función **inv(A)** calcula la inversa de la matriz A.

En Matlab, cuando hay más ecuaciones que incógnitas (caso sobredeterminado), la utilización del operador de división \ o / automáticamente encuentra la solución que minimiza el error al cuadrado en $Ax=b=0$. Esta solución se llama *solución de mínimos cuadrados*.

Cuando hay menos ecuaciones que incógnitas (caso indeterminado), existe un número infinito de soluciones. Matlab calcula dos de forma directa. El uso del operador de división da una solución que tiene ceros para algunos de los elementos de x. Alternativamente, calculando $x=pinv(A)*b$ se obtiene una solución donde la longitud o norma euclídea de x es más pequeña que todas las otras posibles soluciones. Esta solución se llama *solución de norma mínima*.

11.2. OTRAS CARACTERISTICAS :

- **A.'** es la transpuesta de la matriz A. La transpuesta compleja conjugada de la matriz A se escribe como **A'**.
- **d=eig(A)** devuelve los valores propios asociados con la matriz cuadrada A como un vector columna.
- **[V,D]=eig(A)** devuelve los vectores propios en la matriz V y los valores propios como los elementos diagonales en la matriz D.
- **[L,U]=lu(A)** calcula la factorización LU de la matriz cuadrada A.
- **[Q,R]=qr(A)** calcula la factorización QR de la matriz A.
- **[U,S,V]=svd(A)** calcula la descomposición en valores singulares de la matriz A.
- **rank(A)** devuelve el rango de la matriz A.
- **cond(A)** devuelve el número de condición de la matriz A.
- **norm(A)** calcula la norma de la matriz A. Admite el cálculo de norma-1, norma-2, norma-F y norma- ∞ .
- **poly(A)** encuentra el polinomio característico asociado con la matriz cuadrada A.
- **polyvalm(v,A)** evalúa el polinomio característico v usando la matriz cuadrada A.

12. MANIPULACION MATRICIAL :

Los elementos matriciales se direccionan en el formato fila, columna : $A(filas, columnas)$.

Valores internos a una matriz se acceden identificando los subíndices de los elementos deseados.

Utilizar el símbolo *dos puntos* como la designación de filas o columnas implica, respectivamente, todas las filas o columnas; por ejemplo, $A(:,1)$ representa todas las filas en la columna uno.

Fijar las filas o columnas de una matriz igual a la matriz vacía $[]$ elimina estas filas o columnas.

Usar sólo los *dos puntos*, por ejemplo, $A(:,)$, reagrupa una matriz en un vector columna, tomando todas las columnas a un tiempo.

Vectores lógicos $0-1$ pueden utilizarse también para direccionar partes de un vector. En este caso, los vectores lógicos $0-1$ deben tener el mismo tamaño que el vector que direcciona. Los elementos falsos (0) se eliminan, los elementos verdaderos (1) se retienen.

La función **find** devuelve los subíndices o índices donde una expresión relacional es verdadera.

La función **size** devuelve el número de filas y de columnas de una matriz. La función **length** devuelve la longitud de un vector o la máxima dimensión de una matriz.

Otras características sobre la manipulación matricial son:

- **flipud(A)** intercambia una matriz de arriba abajo.
- **fliplr(A)** intercambia una matriz de izquierda a derecha.
- **rot90(A)** gira una matriz en dirección contraria a las agujas del reloj.
- **reshape(A,m,n)** devuelve una matriz $m \times n$ cuyos elementos se toman por columnas de **A**. **A** debe contener $m \times n$ elementos.
- **diag(v)** crea una matriz diagonal, con el vector **v** sobre la diagonal.
- **diag(A)** extrae la diagonal de la matriz **A** como un vector columna.

12.1. EJEMPLOS :

Ejemplo 1:

```
>> A=[1 2 3;4 5 6;7 8 9]           % Introducimos la matriz A.
A =
     1     2     3
     4     5     6
     7     8     9
>> A(3,3)=0           % Cambia a cero el elemento de la tercera fila y tercera columna.
A =
     1     2     3
     4     5     6
     7     8     0
>> A(2,6)=1           % Coloca 1 en la segunda fila, sexta columna.
A =
     1     2     3     0     0     0
     4     5     6     0     0     1
     7     8     0     0     0     0
>> B=A(3:-1:1,1:3)    % crea una matriz B tomando las filas de A en orden inverso.
B =
     7     8     9
     4     5     6
     1     2     3
>> B=A(3:-1:1,:);      % Hace lo mismo que el ejemplo anterior.
>> C=[A B(:,[1 3])]    % Crea C añadiendo todas las filas en la primera y tercera
columna de B a la derecha de A.
C =
     1     2     3     7     9
     4     5     6     4     6
     7     8     9     1     3
>> B=A(1:2,2:3)        % Crea B extrayendo las primeras dos filas y las últimas dos
columnas de A.
B =
     2     3
     5     6
>> C=[1 3]
C =
     1     3
>> B=A(C,C)           % Usa el array C para indexar la matriz A.
B =
     1     3
     7     9
>> B=A(:);           % Construye B al disponer A en un vector columna tomando todas
sus columnas a un tiempo.
>> B=B.'              % Operación punto-transpuesta.
B =
     1     4     7     2     5     8     3     6     9
```



```
>> B=A; B(:,2)=[]           % Redefine B eliminando todas las filas en la segunda
columna de la original B.
B =
     1     3
     4     6
     7     9
>> B=B.'; B(2,:)=[]        % Elimina la segunda fila de B.
B =
     1     4     7
>> A(2,:)=B                 % Sustituye la segunda fila de A con B.
A =
     1     2     3
     1     4     7
     7     8     9
>> B=A(:,[2 2 2 2])        % Crea B duplicando todas las filas en la segunda columna de
A cuatro veces.
B =
     2     2     2     2
     4     4     4     4
     8     8     8     8
```

Ejemplo 2:

```
>> x=-3:3                   % Introducimos datos.
x =
    -3    -2    -1     0     1     2     3
>> abs(x)>1                 % Da unos donde el valor absoluto de x es mayor que 1.
ans =
     1     1     0     0     0     1     1
>> y=x(abs(x)>1)           % Crea y al tomar aquellos valores de x donde su valor absoluto
es mayor que 1.
y =
    -3    -2     2     3
>> y=x([1 1 1 1 0 0 0])    % Crea y seleccionando sólo los primeros 4 valores, y
descartando los otros.
y =
    -3    -2    -1     0
>> y=x([1 1 1 1])          % Crea y tomando el primer elemento de x cuatro veces.
y =
    -3    -3    -3    -3
>> x(abs(x)>1)=[]           % Elimina valores de x donde abs(x)>1.
x =
    -1     0     1
```

Ejemplo 3:

```
>> b=[5 -3;2 -4]
b =
     5     -3
     2     -4
>> x=abs(b)>2    % La extracción de arrays lógicos 0-1 también funciona con matrices
x =
     1     1
     0     1
>> y=b(abs(b)>2)    % Los resultados se convierten a un vector columna.
y =
     5
    -3
     4
```

Ejemplo 4:

```
>> x=-3:3
x =
    -3    -2    -1     0     1     2     3
>> k=find(abs(x)>1)    % Encuentra aquellos subíndices donde abs(x)>1.
k =
     1     2     6     7
>> y=x(k)    % Crea y utilizando los índices en k.
y =
    -3    -2     2     3
```

Ejemplo 5:

```
>> A=[1 2 3 4; 5 6 7 8]; B=pi:0.01:2*pi;
>> s=size(A)    % devuelve un vector fila cuyo primer elemento es el número de
filas y cuyo segundo elemento es el número de columnas.
s =
     2     4
>> [r,c]=size(A)    % Devuelve el número de filas en la primera variable y el número
de columnas en la segunda variable.
r =
     2
c =
     4
>> lenght(A)    % Devuelve el número de filas o de columnas, cualquiera que sea mayor.
ans =
     4
>> size (B)    % Muestra que B es un vector fila.
ans =
     1    315
>> lenght(B)    % Devuelve la longitud del vector (315).
```

13. MATRICES ESPECIALES :

- **zeros(n)** Matriz de ceros ($n \times n$).
- **ones(n,m)** Matriz de unos ($n \times m$).
- **rand(n,m)** Matriz ($n \times m$) de números aleatorios distribuidos uniformemente entre cero y uno.
- **randn(n,m)** Matriz ($n \times m$) de números aleatorios distribuidos normalmente con media cero y varianza unidad.
- **eye(n,m)** Matriz identidad ($n \times m$).

13.1 EJEMPLOS :

```
>> zeros(3)                                % Una matriz 3x3 de ceros.
ans =
    0    0    0
    0    0    0
    0    0    0

>> ones(2,4)                              % Una matriz 2x4 de unos.
ans =
    1    1    1    1
    1    1    1    1

>> rand(3,1)
ans =
    0.2190
    0.0470
    0.6789

>> randn(2)
ans =
    1.1650    0.0751
    0.6268    0.3516

>> eye(3)
ans =
    1    0    0
    0    1    0
    0    0    1

>> A=[1 2 3;4 5 6];
>> ones(size(A))                          % Una matriz de unos del mismo tamaño que A.
ans =
    1    1    1
    1    1    1
```

14. CONTROLES DE FLUJO :

Las características de control de flujo de Matlab se resumen en la siguiente tabla:

ESTRUCTURA DE CONTROL DE FLUJO	DESCRIPCION
for x = array órdenes end	Un bloque <i>for</i> que en cada iteración asigna <i>x</i> a la columna <i>i</i> -ésima de <i>array</i> y ejecuta <i>órdenes</i> .
while expresión órdenes end	Un bloque <i>while</i> que ejecuta <i>órdenes</i> mientras todos los elementos de <i>expresión</i> son verdaderas o distinto de cero.
if expresión órdenes end	Una simple estructura <i>if-else-end</i> donde <i>órdenes</i> se ejecutan si todos los elementos en <i>expresión</i> son verdaderas.
if expresión órdenes evaluadas si exp == verdadero else órdenes evaluadas si exp == falso end	Una estructura <i>if-else-end</i> con dos caminos. Un grupo de órdenes se ejecuta si <i>expresión</i> es verdadera. El otro conjunto se ejecuta si <i>expresión</i> es falsa o cero.
if expresión1 órdenes evaluadas si expresión1 es verdadera elseif expresión2 órdenes evaluadas si expresión2 es verdadera elseif _ . . . else órdenes evaluadas si ninguna otra expresión es verdadera end	La estructura más general <i>if-else-end</i> . Sólo se evalúan las órdenes asociadas con la primera expresión verdadera.
break	Termina la ejecución de bucles <i>for</i> y bucles <i>while</i> .

14.1. EJEMPLOS :

Ejemplo 1 : (bucle for)

```
>> for n=1:5
    for m=5:-1:1
        A(n,m)=n^2+m^2;
    end
    disp(n)
end
1
2
3
4
5
>> A
A =
     2     5    10    17    26
     5     8    13    20    29
    10    13    18    25    34
    17    20    25    32    41
    26    29    34    41    50
```

Ejemplo 2 : (bucle while)

```
>> num=0;EPS=1; % Forma de calcular el valor especial eps de Matlab.
>> while (1+EPS)>1
    EPS=EPS/2;
    num=num+1;
end
>> num
num =
    53
>> EPS=2*EPS
EPS =
    2.2204e-16
```

Ejemplo 3 : (estructura if-else-end)

```
>> manzanas=10; coste=manzanas*25 % Número y coste de manzanas.
coste =
    250
>> if manzanas>5 % Aplicar 20% de descuento por cantidad.
    coste=(1-20/100)*coste;
end
>> coste
coste =
    200
```

15. FUNCIONES EN ARCHIVOS - M :

Un *archivo-M* de función es similar a un archivo *script*.

El nombre de la función y el nombre del archivo deben ser idénticos.

Todas las variables dentro de una función se aíslan del espacio de trabajo de Matlab. Las únicas conexiones entre las variables dentro de una función y el espacio de trabajo de Matlab son las variables de entrada y salida.

Cuando una función tiene más de una variable de salida, éstas se encierran entre corchetes.

El número de variables de entrada pasadas a una función está disponible dentro de la función en la variable **nargin**. El número de variables de salida solicitadas cuando una función se llama, está disponible dentro de la función en la variable **nargout**.

16. ANALISIS DE DATOS :

Matlab ejecuta análisis estadístico sobre conjuntos de datos.

Los conjuntos de datos se almacenan en matrices orientadas por columnas.

Matlab incluye las siguientes funciones estadísticas:

FUNCION ESTADISTICA	DESCRIPCION
corrcoef(x)	Coefficientes de correlación.
cov(x)	Matriz de covarianza.
cumprod(x)	Producto acumulativo de columnas.
cumsum(x)	Suma acumulativa de columnas.
diff(x)	Calcula las diferencias entre elementos.
hist(x)	Histograma o diagrama de barras.
mean(x)	Valor medio de columnas.
median(x)	Valor de la mediana de columnas.
prod(x)	Producto de elementos en columnas.
rand(x)	Números aleatorios distribuidos uniformemente.
randn(x)	Números aleatorios distribuidos normalmente.
sort(x)	Ordenar columnas en orden ascendente.
std(x)	Desviación estándar de columnas.
sum(x)	Suma de elementos en cada columna.

17. POLINOMIOS :

17.1. RAICES :

Un polinomio se representa por un vector fila con sus coeficientes en orden descendente; se deben incluir los términos con coeficientes nulos.

Las raíces de un polinomio se encuentran utilizando la función **roots(p)**.

Matlab adopta el convenio de que los polinomios son vectores fila y las raíces son vectores columna.

Dadas las raíces de un polinomio, es posible construir los polinomios asociados mediante la función **poly(r)**.

17.2. OTRAS CARACTERISTICAS:

Matlab ofrece muchas capacidades para la manipulación de polinomios:

- **conv(a,b)** multiplica los dos polinomios **a** y **b**.
- **deconv(c,b)** divide el polinomio **b** entre **c**.
- **polyder(p)** calcula la derivada del polinomio **p**.
- **polyval(p,x)** evalúa el polinomio **p** en todos los valores de **x**.
- **residue(n,d)** calcula el desarrollo en fracciones simples del cociente de **n** a **d**, donde **n** y **d** son polinomios.
- **polyder(n,d)** calcula la derivada del cociente de **n** a **d**, donde **n** y **d** son polinomios.

Matlab no tiene incorporada una función para sumar polinomios. Sin embargo, es fácil construir un archivo-M de función que lo haga.

17.3. EJEMPLOS :

Ejemplo 1 :

```
>> p=[1 -12 0 25 116]      % Incluimos términos con coeficientes nulos.  
p =  
    1   -12    0   25  116
```



```
>> r=roots(p)           % raíces del polinomio p.
r =
    11.7473
     2.7028
   -1.2251 + 1.4672i
   -1.2251 + 1.4672i
>> pp=poly(r)           % Polinomios asociados.
pp =
    1.0e+02 *
Columns 1 through 4
    0.0100    -0.1200    -0.0000     0.2500
Columns 5
    1.1600 + 0.0000i
>> pp=real(pp)          % Extrae la parte real.
pp =
    1.0000    -12.0000    -0.0000    25.0000   116.0000
```

Ejemplo 2 :

```
>> a=[1 2 3 4]; b=[1 4 9 16];
>> c=conv(a,b)           % Multiplicación.
c =
     1     6    20    50    75    84    64
>> d=a+b                 % Suma.
d =
     2     6    12    20
>> e=c+[0 0 0 d]         % Porque son de distinto grado.
e =
     1     6    20    52    81    96    84
>> f=c+[0 0 0 -d]        % Resta.
f =
     1     6    20    48    69    72    44
>> [q,r]=deconv(c,b)     % División.
q =
     1     2     3     4
r =
     0     0     0     0     0     0     0
>> g=polyder(f)          % Derivada.
g =
     6    30    80    144    138    72
```

Ejemplo 3 :

```
>> x=linspace(-1,3);     % Se generan 100 puntos de datos entre -1 y 3.
>> p=[1 4 -7 -10];       % Definimos el polinomio p.
>> v= polyval(p,x);       % Evaluamos p(x) en los valores de x y lo almacenamos en v.
>> plot(x,v), title('x^3 + 4x^2 - 7x - 10'), xlabel('x')
```

18. ANALISIS NUMÉRICO :

18.1. REPRESENTACION GRAFICA :

Existe una función que evalúa cuidadosamente la función que se va a representar, y asegura que todas sus peculiaridades se representan en la gráfica de salida. Como entrada, esta función necesita conocer el nombre de la función como una cadena de caracteres y el rango de representación como un array de dos elementos:

fplot('nombre',[a,b])

18.2. MINIMIZACION :

Para encontrar mínimos de funciones unidimensional y n-dimensional usamos, respectivamente, las funciones:

fmin('nombre_función',a,b)

fmins('nombre_función',a,b)

18.3. LOCALIZACION DE CEROS :

Para buscar el cero de una función unidimensional usamos:

fzero('nombre_función',a)

donde **a** es el punto cerca del cual se busca el cero.

A la función **fzero** debe darse el nombre de una función cuando se la llama.

También puede utilizarse para encontrar donde una función es igual a cualquier constante.

18.4. INTEGRACION :

Matlab proporciona tres funciones para calcular numéricamente el área bajo una función sobre un rango finito: **trapz**, **quad** y **quad8**.

La función **trapz(x,y)** aproxima la integral bajo una función al sumar el área de los trapecoides formados con los puntos.

Las funciones **quad** y **quad8** realizan aproximaciones de un orden más elevado que un simple trapecoide. Funcionan igual que **fzero**.

18. 5. DIFERENCIACION :

Matlab proporciona una función para calcular una aproximación de la derivada, muy poco precisa, dados los datos que describen alguna función. Esta función, llamada **diff**, calcula la diferencia entre los elementos de un array.

18.6. ECUACIONES DIFERENCIALES :

Cuando las ecuaciones diferenciales ordinarias se pueden resolver analíticamente, se pueden utilizar características del *toolbox de matemática simbólica* para encontrar soluciones exactas.

Si no se pueden resolver directamente de forma analítica, es conveniente resolverlas numéricamente.

En Matlab, las derivadas se dan mediante un vector columna.

ode23(function_name,to,tf,yo) y **ode45(function_name,to,tf,yo)** integra un conjunto de ecuaciones diferenciales descritas en la función **function_name** desde un instante inicial **to**, a un instante final **tf**, comenzando con la condición inicial **yo**.

18.7. EJEMPLOS :

Ejemplo 1 :

```
>> f='2*exp(-x).*sin(x)';           % Definimos la función f.
>> fplot(f,[0 8])                   % Representa la función sobre el rango 0≤x≤8.
>> title(f), xlabel('x')
```

Ejemplo 2 :

```
>> x=[0 .1 .2 .3 .4 .5 .6 .7 .8 .9 1];           % Datos.
>> y=[-1.447 1.987 3.28 6.16 7.08 7.34 7.66 9.56 ... 9.48 9.30 11.2]; % Datos.
>> n=2;                                           % Orden del ajuste.
>> p=polyfit(x,y,n)                             % Encuentra los coeficientes del polinomio.
p =
    -9.8108    20.1293    -0.0317
>> xi=linspace(0,1,100);
>> z=polyval(p,xi);                             % Evalúa el polinomio.
>> plot(x,y,'o',x,y,xi,z,':')
>> xlabel('x'), ylabel('y=f(x)'),
>> pd=polyder(p)                                % Encuentra la derivada.
pd =
    -19.6217    20.1293
```

19. GRAFICOS 2-D :

19.1. UTILIZACION DE LA ORDEN PLOT :

Si uno de los argumentos es una matriz y el otro un vector, la orden **plot** representa cada columna de la matriz respecto del vector. Si cambia el orden de los argumentos, la gráfica girará 90 grados.

19.2. ESTILO DE LINEAS, MARCADORES Y COLORES :

Se pueden especificar los colores y estilos de línea dando un argumento adicional a **plot** después de cada pareja de arrays de datos. El argumento opcional adicional es una cadena de caracteres formada por uno, dos o tres caracteres de la tabla siguiente:

SIMBOLO	COLOR	SIMBOLO	ESTILO DE LINEA
y	amarillo	•	punto
m	magenta	o	círculo
c	cien	×	marca-x
r	rojo	+	más
g	verde	*	estrella
b	azul	-	línea sólida
w	blanco	:	línea punteada
k	negro	-.	línea punto-rama
		--	línea de trazos

19.3. ADICION DE REJILLAS Y ETIQUETAS :

La orden **grid on** añade una rejilla a la gráfica actual en las marcas. La orden **grid off** elimina la rejilla. **grid** sin ningún argumento, las conmuta. Los ejes horizontal y vertical se pueden etiquetar, respectivamente, con las órdenes **xlabel** e **ylabel**. La orden **title** añade una línea de texto en la parte superior de la gráfica.

Podemos añadir también cualquier cadena de texto a cualquier localización específica en la gráfica con la orden:

text(x,y,'string'),

donde **(x,y)** representa las coordenadas de la arista del centro izquierda de la cadena de texto en unidades tomadas de los ejes de la gráfica. También se puede poner una cadena de texto con el ratón:

gtext('string')

19.4. EJES A MEDIDA :

ORDENES	DESCRIPCION
<code>axis([xmin xmax ymin ymax])</code>	Fija los valores máximo y mínimo de los ejes usando los valores dados en el vector fila.
<code>axis auto</code> <code>axis('auto')</code> <code>axis(axis)</code>	Devuelve el escalado de los ejes a sus valores por defecto: $xmin=min(x)$, $xmax=max(x)$, etc. Congela el escalado de los ejes en los límites actuales, así que si se activa <i>hold</i> , las gráficas subsiguientes usan los mismos límites de los ejes.
<code>axis xy</code> <code>axis('xy')</code>	Usa coordenadas cartesianas (por defecto), donde el <i>origen del sistema</i> está en el ángulo inferior izquierdo. El eje horizontal aumenta de izquierda a derecha y el eje vertical de abajo hacia arriba.
<code>axis ij</code> <code>axis('ij')</code>	Usa coordenadas de <i>matriz</i> , donde el origen del sistema está en el ángulo superior izquierdo. El eje horizontal aumenta de izquierda a derecha, pero el eje vertical de arriba hacia abajo.
<code>axis square</code> <code>axis('square')</code>	Fija que la gráfica actual sea en un cuadrado en lugar del rectángulo que utiliza por defecto.
<code>axis equal</code> <code>axis('equal')</code>	Fija que los factores de escala para ambos ejes sean iguales.
<code>axis normal</code> <code>axis('normal')</code>	Desactiva <i>axis equal</i> y <i>axis square</i> .
<code>axis off</code> <code>axis('off')</code>	Desactiva todos los etiquetados de ejes, rejillas y marcas. Deja el título y las etiquetas colocadas por las órdenes <i>text</i> y <i>gtext</i> .
<code>axis on</code> <code>axis('on')</code>	Activa el etiquetado de ejes, marcas y rejilla.

19.5. IMPRESIÓN DE FIGURAS :

- print** imprime la gráfica actual en la impresora.
- orient** cambia el modo de orientación.

Por defecto, dentro de la máquina **DEC-AXP-2100 Digital UNIX**, Matlab almacena las gráficas en formato EPS (PostScript). Podemos, transformarlas en otro tipo de formato mediante el driver adecuado. De esta forma podremos visualizarlas e imprimirlas desde nuestro PC con cualquier programa básico para Windows.

Así, por ejemplo, para pasarlas a formato JPG debemos seguir los siguientes pasos:

- 1.- Nombrar la gráfica dentro del comando **print** (no en **Save as ...**).
- 2.- Poner la orden:

print -djpeg nombre_gráfica.jpg

- 3.- Hacer un FTP a nuestro PC en modo binario, auto.

Otros drivers de transformación de formato son :

- **-dtiff** Formato TIFF comprimido.
- **-dtiffnocompression** Formato TIFF no comprimido.
- **-dbitmap** Formato bitmap.

Para más información sobre la impresión de gráficas, teclea (dentro del entorno de Matlab de la máquina) la orden:

help print

19.6. MANIPULACION DE DATOS :

Se pueden añadir líneas a una gráfica existente usando la orden **hold**.

figure con ningún argumento, crea una nueva ventana de figura. Utilizando **figure(n)** elegimos una ventana **n** de figura específica.

La orden **subplot(m,n,p)** subdivide la ventana de la figura actual en una matriz **m×n** de las áreas de representación gráfica y escoge como activa el área p-ésima. Para retornar al modo por defecto: **subplot(1,1,1)**.

Podemos ampliar una región: **zoom on**; el cual se desactiva con **zoom off**. También podemos ampliar y reducir la gráfica creada usando el archivo-M llamado **peaks.m**.

19.7. OTRAS CARACTERISTICAS DE LOS GRAFICOS 2-D :

ORDENES	DESCRIPCION
loglog	Es lo mismo que <i>plot</i> , excepto que se usan escalas logarítmicas para ambos ejes.
semilogx	Es lo mismo que <i>plot</i> , excepto que usa escala logarítmica en el eje <i>x</i> y escala lineal en el eje <i>y</i> . Lo mismo con <i>semilogy</i> .
polar(t,r,S)	Crea gráficos en coordenadas polares, donde <i>t</i> es el vector de ángulos en radianes, <i>r</i> es el radio vector y <i>S</i> es una cadena de caracteres opcional que describe color, símbolo que se emplea para marcar y/o estilo de línea.
bar	Generan, respectivamente, los gráficos de barras y escaleras.
stairs	
hist(y)	Dibuja un histograma.
hist(y,n)	Dibuja un histograma con <i>n</i> elementos (<i>n</i> es un escalar).
hist(y,x)	Dibuja un histograma usando los elementos especificados en <i>x</i> (vector).
stem	Representa la secuencia de datos discretos.
errorbar(x,y,e)	Representa la gráfica del vector <i>x</i> frente al vector <i>y</i> con barras de error especificadas por el vector <i>e</i> .
compass	Representan datos complejos.
feather	
rose	Dibuja un histograma polar.
ginput	Proporciona un medio de seleccionar puntos de la gráfica actual usando el ratón.
fplot	Representa automáticamente una función de una variable entre límites especificados sin crear un conjunto de datos para la variable.
fill(x,y,'c')	Rellena el polígono 2-D definido por los vectores columna <i>x</i> e <i>y</i> con el color especificado por <i>c</i> .

19.8. EJEMPLOS :

Ejemplo 1 :

```
>> x=linspace(0,2*pi,30);      % Crea 30 datos en el intervalo  $0 \leq x \leq 2\pi$ 
>> y=sin(x);                  % Vector que contiene el seno de los datos en x.
>> plot(x,y)                   % Representa x frente a y.

>> z=cos(x);
>> plot(x,y,x,z)              % Representa un seno frente a un coseno en la misma gráfica.
```

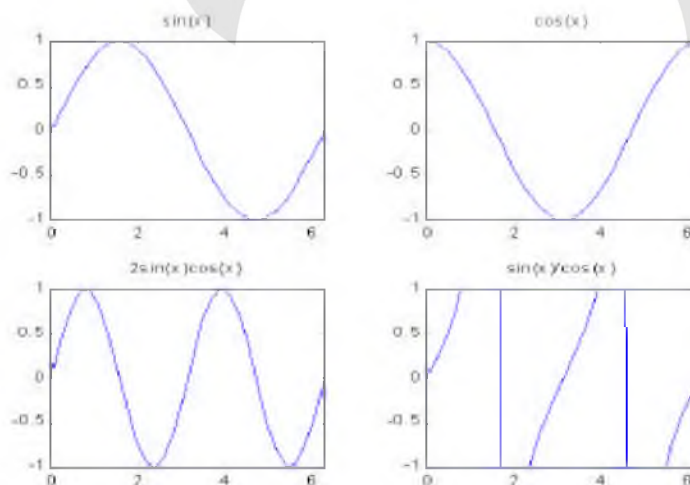
```
>> W=[y,z];           % Crea una matriz con las funciones seno y coseno.
>> plot(x,W)          % Representa las columnas de W frente a x.
>> plot(W,x)          % Representa x frente a las columnas de W.

>> plot(x,y,'g.',x,z,'r--',x,y,'wo',x,z,'c+')    % Usa diferentes estilos de línea, colores
y marcas de puntos.

>> plot(x,y,x,z)
>> grid              % Activa la rejilla.
>> xlabel('Variable Independiente X')            % Etiqueta del eje x.
>> ylabel('Variables dependientes Y y Z')        % Etiqueta del eje y.
>> title('Curvas de seno y coseno')             % Título de la gráfica.
>> text(2.5,0.7,'sin(x)')                       % Añade una etiqueta identificando la curva del seno en
la localización (2.5,0.7).
>> gtext('cos(x)')                             % Etiqueta la gráfica del coseno con el ratón.
```

Ejemplo 2 :

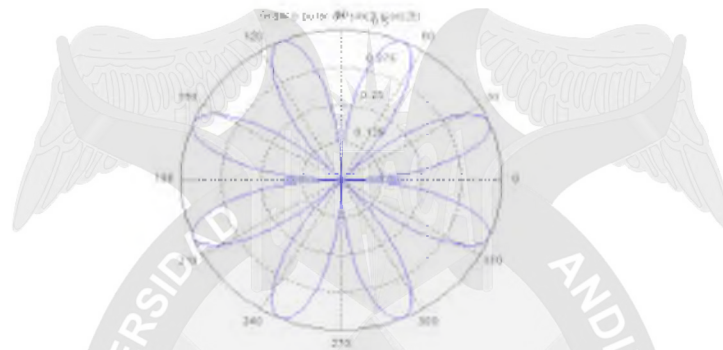
```
>> x=linspace(0,2*pi,30);
>> y=sin(x);
>> z=cos(x);
>> a=2*sin(x).*cos(x);
>> b=sin(x)./(cos(x)+eps);
>> subplot(2,2,1)      % Selecciona la subgráfica superior izquierda.
>> plot(x,y),axis([0 2*pi -1 1]),title('sin(x)')
>> subplot(2,2,2)      % Selecciona la subgráfica superior derecha.
>> plot(x,z),axis([0 2*pi -1 1]),title('cos(x)')
>> subplot(2,2,3)      % Selecciona la subgráfica inferior izquierda.
>> plot(x,a),axis([0 2*pi -1 1]),title('2sin(x)cos(x)')
>> subplot(2,2,4)      % Selecciona la subgráfica inferior derecha.
>> plot(x,b),axis([0 2*pi -1 1]),title('sin(x)/cos(x)')
```



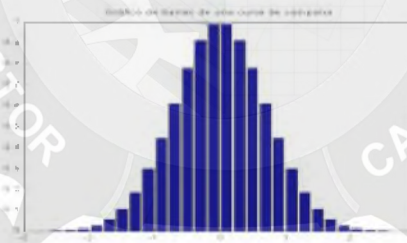

```
>> subplot(1,1,1) % Retorna a una única gráfica en la ventana de figura.
```

Ejemplo 3 :

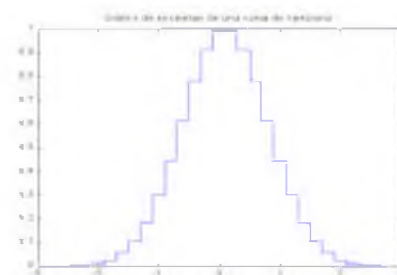
```
>> t=0:.01:2*pi;  
>> r=sin(2*t).*cos(2*t);  
>> polar(t,r)  
>> title('Gráfico polar de sin(2t)cos(2t)')
```

**Ejemplo 4 :**

```
>> x=-2.9:0.2:2.9;  
>> y=exp(-x.*x);  
>> bar(x,y)  
>> title('Gráfico de barras de una curva de campana')
```

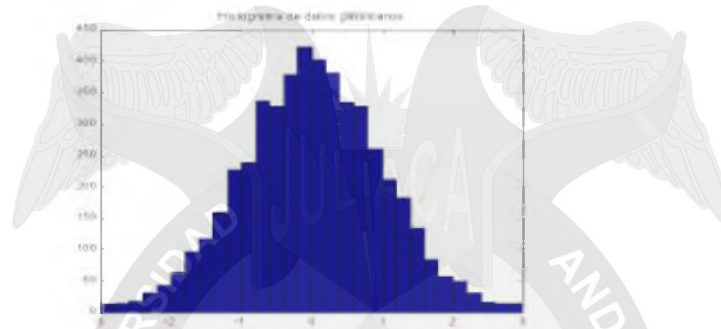


```
>> stairs(x,y)  
>> title('Gráfico de escaleras de una curva de campana')
```

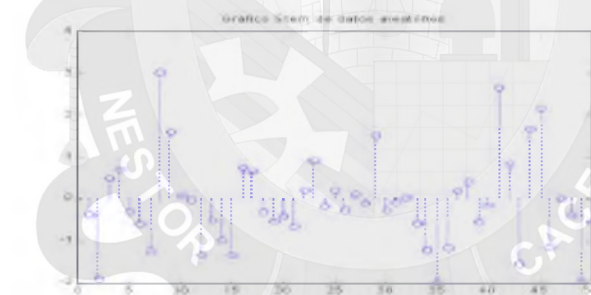


Ejemplo 5 :

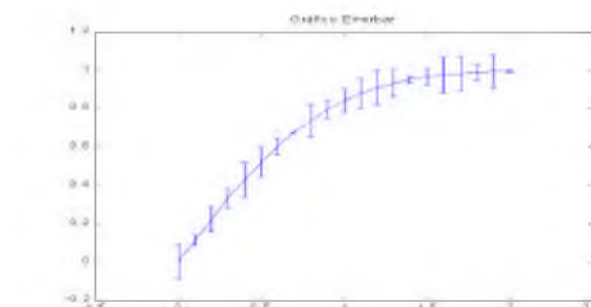
```
>> x=-2.9:0.2:2.9;           % Especifica los elementos a usar.  
>> y=randn(5000,1);         % Crea 5000 puntos aleatorios.  
>> hist(y,x)                 % Dibuja el histograma.  
>> title('Histograma de datos gaussianos')
```



```
>> y=randn(50,1);           % Crea algún dato aleatorio.  
>> stem(y,'b')              % Dibuja una gráfica stem con línea punteada.  
>> title('Gráfico Stem de datos aleatorios')
```

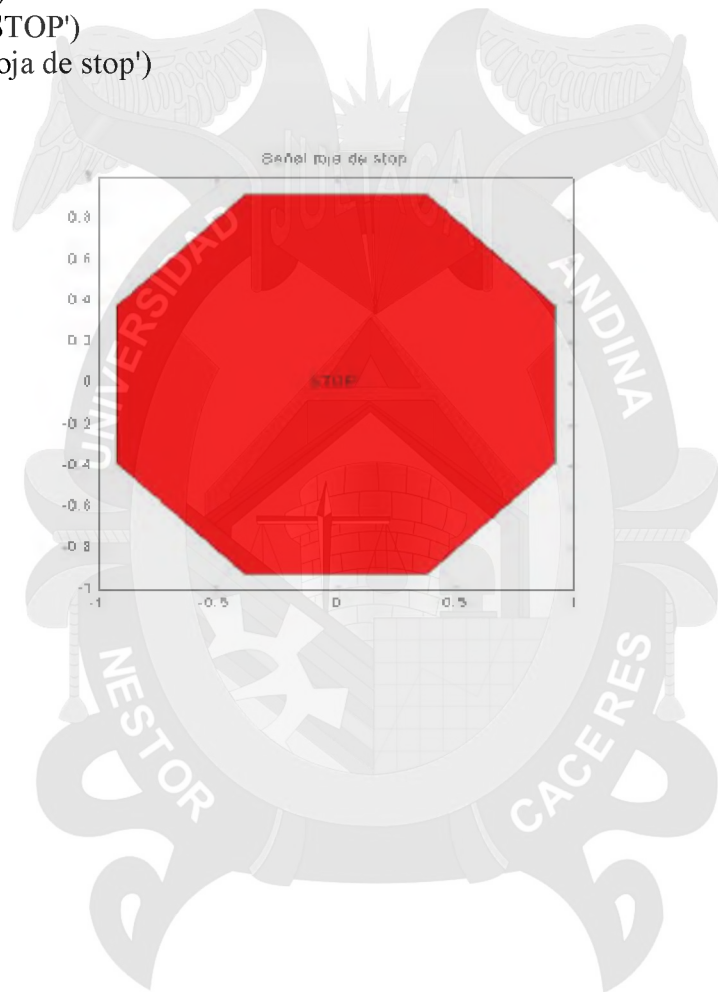
**Ejemplo 6 :**

```
>> x=0:0.1:2;               % Crea un vector.  
>> y=erf(x)                  % y es la función error de x.  
>> e=rand(size(x))/10;       % Genera valores de error aleatorios.  
>> errorbar(x,y,e)           % Crea la gráfica.  
>> title('Gráfico Errorbar')
```



Ejemplo 7:

```
>> t=(1/8:2/8:15/8)*pi;           % Vector columna.  
>> x=sin(t);  
>> y=cos(t);  
>> fill(x,y,'r')                 % Un círculo rojo relleno usando sólo 8 puntos.  
>> axis('square')  
>> text(-.11,0,'STOP')  
>> title('Señal roja de stop')
```



20. GRAFICOS 3-D :

20.1. GRAFICOS DE LINEA :

Extendemos la orden **plot** de 2-D a 3-D con **plot3**. El formato es el mismo, excepto que los datos están en tripletes.

20.2. GRAFICOS DE MALLA Y DE SUPERFICIE :

20.2.1. Superficie de malla :

[X,Y]=meshgrid(x,y) crea una matriz **X** cuyas filas son copias del vector **x**, y una matriz **Y** cuyas columnas son copias del vector **y**.

Una vez dada esta orden, la gráfica de malla se genera mediante: **mesh(X,Y,Z)**.

mesh acepta un argumento opcional para controlar los colores. También puede tomar una matriz simple como un argumento: **mesh(Z)**.

20.2.2. Gráfica de superficie :

Es como la gráfica de malla, excepto que se rellenan los espacios entre líneas. Las gráficas de este tipo se generan usando la función **surf** (mismos argumentos que la función **mesh**).

Las gráficas de contorno en 2-D y 3-D se generan usando, respectivamente, las funciones **contour** y **contour3**.

La función **pcolor** transforma la altura a un conjunto de colores.

20.3. MANIPULACION DE GRAFICOS :

La función **view(azimut,elevación)** fija el ángulo de visión especificando el *azimut* y la *elevación*. **view([x y z])** coloca su vista en un vector que contiene la coordenada cartesiana (x,y,z) en el espacio 3-D. El azimut y la elevación de la vista actual se pueden obtener utilizando **[az,el]=view**.

La orden **hidden** controla la eliminación de líneas escondidas. Si activamos **hidden off** veremos todas las partes a través de la malla.

20.4. OTRAS CARACTERISTICAS DE LOS GRAFICOS 3.D :

La función **clabel** añade etiquetas de altura a los gráficos de contorno.

fill3 es la versión 3-D de **fill**.

20.5. COMPRESION DE LOS MAPAS DE COLOR :

ROJO	VERDE	AZUL	COLOR
0	0	0	negro
1	1	1	blanco
1	0	0	rojo
0	1	0	verde
0	0	1	azul
1	1	0	amarillo
1	0	1	magenta
0	1	1	cien
0.5	0.5	0.5	gris medio
0.5	0	0	rojo oscuro
1	0.62	0.4	cobre
0.49	1	0.83	agua marina

FUNCION	DESCRIPCION DEL MAPA DE COLOR
hsv	Matiz-saturación-valor
hot	Negro-rojo-amarillo-blanco
cool	Sombras de cyan y magenta
pink	Sombras de rosa pastel
gray	Escala lineal de gris
bone	Escala de gris con un tinte de azul
jet	Una variante de HSV
copper	Tono cobre lineal
prism	Prisma
flag	Alternar rojo, blanco, azul y negro

20.6. UTILIZACION DE MAPAS DE COLOR :

La sentencia **colormap(M)** instala la matriz M como el mapa de color a utilizar por la figura actual.

20.7. VISUALIZACION DE MAPAS DE COLOR :

Se puede hacer de varias formas:

- Se pueden visualizar los elementos en una matriz del mapa de color mediante **hot(m)**.
- También mediante la función **pcolor** se puede visualizar un mapa de color.
- La función **colorbar** añade una barra de color vertical u horizontal (escala de color) a la ventana de figura actual mostrando las transformaciones de color para el eje actual.

20.8. CREACION Y ALTERACION DE LOS MAPAS DE COLOR :

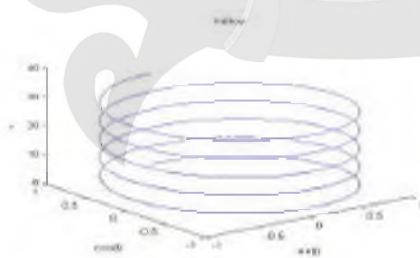
La función **brighten** ajusta un mapa de color dado para aumentar o disminuir la intensidad de los colores oscuros.

Podemos crear un mapa de color mediante **colormap(mymap)**.

20.9. EJEMPLOS :

Ejemplo 1 :

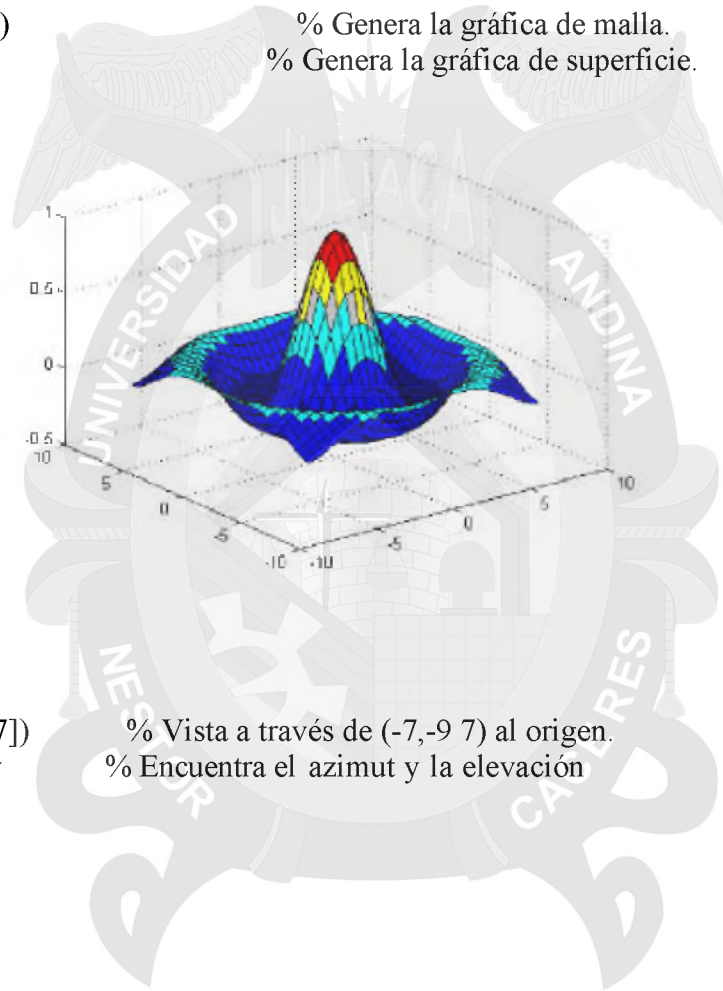
```
>> t=0:pi/50:10*pi;  
>> plot3(sin(t),cos(t),t)  
>> title('Hélice'),xlabel('sin(t)'),ylabel('cos(t)'),zlabel('t')
```



```
>> axis('ij') % Hace que el eje y aumente de atrás hacia adelante.
```

Ejemplo 2 :

```
>> x=-7.5:5:7.5;  
>> y=x;  
>> [X,Y]=meshgrid(x,y);    % Genera puntos igualmente espaciados en el plano xy  
entre -7.5 y 7.5 en ambos x e y.  
>> R=sqrt(X.^2+Y.^2)+eps;    % Distancia desde el origen (0,0).  
>> Z=sin(R)./R;  
>> mesh(X,Y,Z)              % Genera la gráfica de malla.  
>> surf(X,Y,Z)              % Genera la gráfica de superficie.
```

**Ejemplo 3 :**

```
>> view([-7 -9 7])           % Vista a través de (-7,-9 7) al origen.  
>> [az,el]=view              % Encuentra el azimuth y la elevación
```



1	1	5
1	2	0
1	3	11
1	4	13
1	5	0
1	6	72
1	7	27
2	1	7
2	2	4
2	3	4
2	4	0
2	5	0
2	6	27
2	7	22
3	1	4
3	2	11
3	3	0
3	4	0
3	5	4
3	6	20
3	7	39
4	1	8
4	2	13
4	3	7
4	4	5
4	5	0
4	6	16
4	7	24
5	1	4
5	2	9
5	3	4
5	4	5
5	5	4
5	6	23
5	7	10
6	1	2
6	2	4
6	3	7
6	4	20
6	5	5
6	6	4
6	7	23

